PROYECTO MINA DE COBRE PANAMÁ

ESTUDIO DE IMPACTO AMBIENTAL (EsIA) CATEGORÍA III

INFORME ANUAL DEL PROGRAMA DE MONITOREO DE EFECTOS AMBIENTALES: ECOSISTEMAS DE AGUA DULCE

Compromisos de EsIA Aplicables	Periodo reportado	Elaborado por	Fecha de Emisión del Reporte
13226	2016	ENVIROMENTAL ENGINEERING SCIENCE INTERNATIONAL	02/09/2016

MINERA PANAMÁ

MONITOREO DE ECOSISTEMAS DE AGUA DULCE EN MINERA PANAMÁ INFORME FINAL AÑO 2016

OFICINA Y LABORATORIO
Calle Eusebio A. Morales. El Cangrejo Edificio P.H. Neo Plaza. Oficina 205
Ciudad de Panamá. República de Panamá

PRESENTACIÓN

La empresa MINERA PANAMÁ ha encargado a la consultora ambiental independiente EES INTERNATIONAL, SA, el monitoreo de los ecosistemas de agua dulce en el año 2016.

Ciudad de Panamá, junio 2016

Dr Fernando J. Mariño Fernández
Fdo. Director Técnico de EES INTERNATIONAL

Ing. María Martín Redondo
Fdo. Responsable de Calidad y Procedimientos

Rev. Nº	Motivo modificación	Aprobado por	Fecha Entrega
1	Edición original	Dr Fernando Mariño	30-06-2016
2	Edición revisada con cambios de códigos e índice documento	Dr Fernando Mariño	02-09-2016

Nº PEDIDO: MINERA PANAMA 1824-603208

AMBITO DE LA INSPECCION: REGLAMENTARIO. NO SE HA OMITIDO NINGUN ASPECTO DEL AMBITO ORIGINAL DEL TRABAJO.

IDENTIFICACION DEL ITEM INSPECCIONADO: AGUAS NATURALES SUPERFICIALES.

CONDICIONES GENERALES: EL CONTENIDO DEL PRESENTE INFORME DE INSPECCION SE HA AJUSTADO A LO ESTABLECIDO EN LAS NORMA ISO/IEC 17020 Y/O ISO 9001. LOS ANALISIS EN EL LABORATORIO LOS HAN REALIZADO LABORATORIOS EXTERNOS ACREDITADOS POR LA NORMA INTERNACIONAL UNE/EN/ISO 17025.

LA INSPECCION Y MUESTREO SE HA REALIZADO SEGÚN ESPECIFICACIONES RECOGIDAS EN LAS INSTRUCCIONES DEL SGC DE EES INTERNATIONAL, SA, CON REGISTROS PRIMARIOS DE LAS MEDIDAS IN SITU INCLUIDOS EN EL CUADERNO DE CAMPO DEL EQUIPO.

1) El presente informe es copia fiel del original que mantiene EES INTERNATIONAL, SA
2) Los resultados obtenidos sólo afectan a las muestras ensayadas.
3) El presente informe no debe ser reproducido ni total ni parcialmente sin la autorización expresa del responsable Técnico de EES INTERNATIONAL, SA o del cliente.

LOS RESULTADOS DE LA PRESENTE INSPECCION SE REFIEREN EXCLUSIVAMENTE AL PEDIDO REALIZADO.

DESIGNACION DEL DOCUMENTO: ESTUDIO DE ECOSISTEMAS DE AGUA DULCE 2016 INFORME FINAL 020916

IDENTIFICACION DE LA VERSIÓN DEL DOCUMENTO: 020916

ÍNDICE

RESUMEN EJECUTIVO

1. INTRODUCCIÓN 1
2. OBJETIVOS DE LA CONSULTORÍA 3
3. METODOLOGÍA DE LOS TRABAJOS 4
3.1. Actividades realizadas 4
3.2. Sitios de muestreo 5
3.3. Metodología de estudio de elementos físico-químicos 9
3.4. Metodología de estudio de elementos biológicos 12
3.5. Metodología estudio elementos hidromorfológicos y arraigo 18
4. RESULTADOS 20
4.1. Elementos físico-químicos 20
4.2. Elementos biológicos 29
4.3. Elementos hidromorfológicos y arraigo 48
5. ANÁLISIS DE INDICADORES AMBIENTALES 51
6. ESTADO ECOLÓGICO Y DIAGNÓSTICO 54
6.1. Justificación 54
6.2. Índices de calidad del agua. Metodología y resultados 54
6.3. Valoración y diagnóstico del estado ecológico 62
7. RESUMEN Y RECOMENDACIONES 72

ANEXO 1. FICHAS DE LOS SITIOS DE MUESTREO
ANEXO 2. INFORMES DE ENSAYO DE ANÁLISIS DE AGUA, SEDIMENTOS Y BIOTA
ANEXO 3. INFORMES DE ENSAYO DE ANALISIS DE PERIFITON Y CALCULO IPS
ANEXO 4. REPORTAJE FOTOGRÁFICO DE PECES

RESUMEN EJECUTIVO

Por encargo de MINERA PANAMÁ S.A., el objetivo principal de la presente consultoría es continuar con el Plan de Monitoreo de Ecosistemas de Agua Dulce iniciado en el año 2012, mediante un Programa de Monitoreo de Efectos Ambientales (EEM por sus siglas en inglés) dirigido a asegurar que los controles ambientales para los afluentes, sedimentos y agua y otras medidas de mitigación sean efectivas para la protección de la viabilidad de los ecosistemas acuáticos de agua dulce alrededor de las operaciones de la mina.

De esta forma, se ha continuado con la aplicación de los índices e indicadores ambientales establecidos por MINERA PANAMÁ S.A., con el fin de conocer cómo evolucionan en el tiempo desde el año 2012 (considerada la línea base) y su grado de afectación por las actividades de la mina.

Como objetivo complementario, este año 2016 se ha incluido de forma novedosa la valoración del "estado ecológico" de cada uno de los sitios de muestreo, teniendo en cuenta los siguientes elementos de calidad e indicadores o índices:

- Elementos de físico-químicos: parámetros de calidad de agua y metales pesados en agua, sedimentos y biota.
- Elementos de calidad biológicos: macroinvertebrados (índice IBMW/PAN), perifiton (índice IPS) y peces (índice IBI).
- Elementos hidromorfológicos: vegetación de ribera (índice QBR-PAN), hábitat fluvial (índice IHF-PAN) y arraigo (índice de arraigo IA).

Una vez calculados los indicadores de calidad físico-químicos, hidromorfológicos y biológicos, para valorar y diagnosticar el estado ecológico se ha seguido el esquema de toma de decisiones basado en la metodología adoptada en el "Proyecto de Saneamiento de los ríos y quebradas de la Ciudad de Panamá y Del Medio marino de la Bahía de Panamá" del Ministerio de Salud y según los criterios de la Directiva Marco del Agua en Europa (DMA, 200/60/CE).

Desde el punto de vista metodológico, se han seguido protocolos estándares para el muestreo y análisis de los elementos ambientales considerados y similares a los empleados en monitoreos de años anteriores.

Para los valores de referencia o guía de los parámetros de calidad de aguas (físico-químicos) se ha empleado la siguiente normativa vigente en Panamá, así como normativa específica de referencia para niveles de metales pesados en sedimentos.

- Norma primaria de calidad ambiental y niveles de calidad para las aguas continentales de uso recreativo para la categoría "sin contacto directo". Decreto Ejecutivo Nº 75 de 4 de junio de 2008.

- Protocolo del Consejo Canadiense del Ministerio del Ambiente (CCME) y Ley holandesa de suelos contaminados: "Soil Clean-Up Act.1983".

El diseño original de los emplazamientos de cada punto realizado en el año 2012 dependió del establecimiento de sitios de muestreo cercanos al proyecto (Punto de Muestreo Cercano, PMC), sitios de muestreo río abajo (Punto de Muestreo Lejano, PML) y sitios de muestreo de referencia (REF) que son áreas no influenciadas por el proyecto.

Para el monitoreo del año 2016 se emplearon los mismos sitios de muestreo que en años anteriores, incluyendo un punto adicional en el río Petaquilla en punto lejano (PML Petaquilla). Estos sitios de muestreos se ubicaron dentro de los cauces receptores de las principales subcuencas afectadas por el proyecto e incluyen:

- Subcuenca del Río Caimito: incluye el Río del Medio (PMC-Caimito) como sitio de muestreo cercano y el propio Río Caimito (PML-Caimito) como sitio de muestreo lejano, que recibriran las aguas de descarga de relaves.

- Subcuenca del Río Botija: incluye el propio Río Botija (PMC-Botija) como sitio de muestreo cercano, que recibe las descargas, y más alejado el Río San Juan de Turbe (PML-Botija) como sitio de muestreo lejano.

- Subcuenca del Río Petaquilla: con el Río Petaquilla en un punto cercano que recibirá las descargas de los tajos de Colina y Valle Grande y minería ilegal (PMC-Petaquilla) y un punto adicional a los empleados en anteriores monitoreos situado más alejado aguas abajo (PML-Petaquilla).

- Subcuencas de referencia: en las que se han seleccionado los ríos Hoja (REF-Hoja) y Rinconcito (REF-Rinconcito) no afectados por las actividades del proyecto.

Los muestreos se desarrollaron al final de la estación seca, entre el 30 de abril y el 5 de mayo de 2016 de forma ininterrumpida. Durante este período, las condiciones atmosféricas fueron muy similares, con cielos despejados o poco nublados (< 20% nubes), en general ausencia de lluvias o con presencia ocasional de algún chaparrón y una temperatura ambiente en el rango de 28-31ºC.

Los flujos estimados de agua para los ríos Rinconcito, Petaquilla, Botija y Del Medio fueron medios-bajos y propios de una estación seca, con caudales del orden de 1,0-2,0 m^3/s. Destaca el moderado caudal de los ríos Caimito y San Juan, con valores estimados de 10-20 m^3/s.

En ningún río se incumplen los límites para temperatura (variaciones superiores a 3º de las condiciones naturales), pH (6,5-8,5 unidades pH), turbiedad (50-100 NTU), sólidos en suspensión (< 50 mg/L) y oxígeno disuelto (6-7 mg/L) del Decreto Ejecutivo Nº 75 de 4 de junio de 2008. Asimismo, las aguas se caracterizan por su baja dureza y contenido en nutrientes, con escaso contenido en carbono orgánico disuelto (COD) en todas las estaciones. Los sólidos en suspensión han sido bajos, con excepción de la estación PMC-Caimito que recibe las aguas con altos contenidos en sólidos, pero con valores inferiores a 50 mg/L que establece el Decreto Ejecutivo Nº 75 de 4 de junio de 2008.

Todos los metales pesados en agua incluidos en el Decreto Ejecutivo Nº 75 de 4 de junio de 2008 (arsénico, cadmio, cromo, mercurio y plomo) cumplen con los límites de calidad. Para el cobre, y por su interés en este monitoreo, se han obtenido concentraciones en agua por encima del valor de referencia de 0,01 mg/L en los sitios de muestreo REF-Hoja, PMC-Caimito y PMC-Botija, que reciben las aguas de lavado de la mina.

Teniendo en cuenta la referencia para contenido en metales pesados en sedimentos, el cinc solo incumpliría para límites bajos en el río Petaquilla. Para el cobre se incumpliría para límites bajos (LEB) en todos los puntos, excepto en PMC-Botija, PMC-Petaquilla y PML-Petaquilla que también se incumpliría en límites efectos altos (LEA).

Las concentraciones de metales pesados en tejidos de peces han sido relativamente bajas en todos los sitios de muestreo. En comparación con el resto, la estación de referencia REF-Rinconcito ha presentado mayores concentraciones en cobre y cinc, comparable a la estación REF-Hoja.

Las concentraciones de metales en camarones fueron notablemente mayores que las que se encontraron en los tejidos de los peces para ciertos metales. Se observa una gran variabilidad en los resultados, con concentraciones más bajas en la estación de referencia REF-Rinconcito en comparación con el resto.

Las estaciones con densidades más bajas de macroinvertebrados han sido la de los ríos Petaquilla (estación PML-Petaquilla adicional situada más abajo que la estación empleada en anteriores monitoreos) y el REF-Hoja. Las dos estaciones presentan escasa diversidad de hábitats, con predominio de sedimentos finos y gravas, que albergan pocos refugios. Por su parte, las mayores densidades y taxones se han registrado en los ríos Caimito (río con elevada diversidad de hábitats) y Rinconcito, seleccionado éste último de referencia.

El estado de calidad de las agua sobre la base del índice BMWP/PAN para macroinvertebrados se ha clasificado como MUY BUENO a BUENO, con escasas diferencias entre los sitios de muestreo. El valor más elevado lo toma el río Rinconcito y los valores más bajos el Petaquilla y Hoja, aunque con calidades tipo BUENA.

Se han identificado un total de 64 especies del perifiton con requerimientos ecológicos principalmente asociados con la alcalinidad, pH y una amplia gama de contenido de nutrientes del agua. Destacan los altos valores de diversidad, nº de taxones y valvas de diatomeas en los ríos Hoja y Rinconcito y moderados en el resto de estaciones. Por su parte, el río Petaquilla presenta bajos valores de estos índices y, por el contrario, los valores más elevados del índice de calidad IPS debido a que en la comunidad de diatomeas dominan especies muy sensibles, lo que hace aumentar el valor de este índice. Como es natural, no parece haber una relación clara entre el contenido en Clorofila a y la densidad, debido al diferente contenido de este pigmento en las células analizadas y variable en función de cada especie.

Con excepción del Río Hoja, en donde a partir del índice IPS de perifiton se ha clasificado su calidad como MODERADA, todos los ríos presentan un estado de calidad en cuanto a la presencia de especies indicadoras MUY BUENO a BUENO, con escasas diferencias entre ellos. El valor más elevado lo toma el río Petaquilla, con calidades de aguas muy limpias.

Dentro del estudio de peces, se colectaron un total de 400 individuos representados con 9 órdenes, 17 familias, 27 géneros y 30 taxones a nivel de especie. En base a los resultados obtenidos cabe resaltar la presencia de las cuatro especies consideradas de interés en la línea

base (EIA, 2010); siendo estas *Bryconchagrensis* (sábalo pipón), *Gobiomorus dormitor* (guabina), *Agonostomus montícola* (lisa de rio) y *Sicydium altum*. Otro aspecto a tomar en cuenta fue la presencia de las especies centinelas (*Gobiomorus dormitor y Sicydium altum*) en estado de gravidez.

Las especies de peces registradas en el área de estudio forman parte de la fauna característica de los ríos y quebradas de la zona, donde por factores como la altitud y la temperatura y siguiendo el patrón normal de distribución de las especies, a medida que se sube por el río se espera encontrar una baja diversidad de estas. De igual manera el registro de las especies dependió en algunas ocasiones, de las técnicas de muestreos utilizadas, ya que algunas son más eficientes que las otras y se pueden registrar una mayor variabilidad de especies.

En relación a las observaciones del estado gonadal de los peces, se indica la gran diferencia encontrada en la madurez de las hembras entre cuencas e incluso entre ríos de la misma cuenca. En algunos ríos presentaban un buen estado (Petaquilla y San Juan), pero en otros (Caimito y Botija) todavía no se encontraba avanzado el proceso de maduración gonadal, no siendo posible las comparaciones.

Para valorar el estado de calidad biológica de los diferentes ríos estudiados a partir de los peces, se ha aplicado el Índice de Integridad Biológica (IBI, por sus siglas en Inglés). Para ello, se han considerado, en primer lugar, el número de especies de peces presentes, número de individuos (como CPUE en ind/min) y su diversidad (índice Shannon-Weaber). En segundo lugar, los atributos ecológicos de cada especie, así como su estado de salud (proporción de especies con anomalías).

Todos los sitios presentan índices IBI elevados, lo que indica calidades BUENAS, y MUY BUENAS en el punto de referencia del río Rinconcito y San Juan, con una mayor diversidad y densidad de peces.

La fauna de camarones estuvo representada por siete especies, siendo los átidos: *Atya scabra y Potimirin glabra* los más abundantes en toda la colecta, caracterizándose por ser especies que se encuentran en los ríos con fondo rocoso, aguas correntosas y algunas veces con material vegetal. Los sitios con mayor abundancia fueron el REF-Rinconcito con 336 individuos y REF-Hoja con 315 individuos.

El uso de los camarones como indicadores de la calidad ecológica de los ecosistemas fluviales todavía no ha sido abordado. Su presencia y grado de sensibilidad ante las alteraciones antrópicas debe ser valorado, con el fin de obtener un índice de aplicación al caso de las aguas panameñas.

Los resultados obtenidos de la aplicación de los dos índices hidromorfológicos (QBR-PAN e IHF-PAN) indican que el estado de calidad hidromorfológico se encuentran entre MUY BUENO (ríos Rinconcito, Del Medio y Petaquilla) a BUENO (resto de ríos). Cabe señalar que la valoración del estado hidromorfológico para el río Del Medio solo se hizo con el índice QBR-PAN, ya que no se pudieron estimar bien ciertas características del hábitat para el cálculo del índice IHF-PAN dada la elevada turbidez e imposibilidad de acceder a ciertas zonas del tramo.

Aunque la valoración hidromorfológica de los tramos seleccionados ha sido muy favorable, se señala que en el caso del río Petaquilla se han observado alteraciones de las riberas en la margen derecha debido a extracciones de minería artesanal y en el río Botija por corta de la vegetación natural, que pueden afectar puntualmente esta valoración.

Se ha continuado en este trabajo con el estudio de arraigo para la evaluación de la erosión y de la condición relativa del hábitat. El porcentaje de arena mediana a muy fina se encuentra inferor al 5% en la mayor parte de los cauces estudiados. Unicamente el río Del Medio y el río Caimito presentan porcentajes superiores de 10,6 y 6,9% respectivamente de arenas medianas a muy finas.

Una vez calculados los indicadores de estado de calidad para cada uno de los elementos físico-químicos (aguas, sedimentos y biota), biológicos e hidromorfológicos, para valorar y diagnosticar el estado ecológico final de los ríos estudiados –con todos los elementos en conjunto-, se ha seguido el esquema de toma de decisiones basado en la metodología propuesta por la Comisión Europea en el documento guía sobre clasificación del estado ecológico (European Comission, 2003).

El estado ecológico se define como una expresión de la calidad de la estructura y el funcionamiento de los ecosistemas acuáticos asociados a las aguas superficiales. Se establecen cinco clases de estado ecológico, en función del grado de alteración de la masa de agua respecto a sus condiciones de referencia: Muy bueno, bueno, moderado, deficiente y malo.

Con excepción del río Hoja, que ha quedado clasificado con un estado ecológico final de MODERADO –debido a los valores que toma el indicador metales pesados en sedimentos y perifiton-, el resto de sitios de muestreo presentan un estado ecológico de BUENO.

Además de la valoración del estado ecológico, como una herramienta para el seguimiento de las condiciones de calidad de los ecosistemas de agua dulce superficiales a partir de la integración de diferentes índices de calidad, se ha procedido en el presente capítulo al análisis de los indicadores ambientales que se vienen empleando de forma rutinaria en el EEA.

Con el fin de resumir e interpretar estos resultados de la forma más sencilla posible, se ha utilizado una simbología que indica la tendencia de cada indicador en el tiempo en comparación con las condiciones de referencia y la línea de base del año 2012.

La tendencia de los cinco indicadores comparados entre la línea base del año 2012 y el presente monitoreo 2016 indican variaciones poco significativas entre los mismos. Se destaca el aumento de la tendencia en los índices de macroinvertebrados en el río Petaquilla en comparación con el año 2012.

En este sentido, se destaca que las condiciones generales analizadas han variado muy poco con respecto al año 2012, no apreciándose por el momento una tendencia hacia peores condiciones en la salud de los ecosistemas acuáticos (abióticos y bióticos) asociados con las actividades de construcción de la mina.

Ciudad de Panamá
Junio 2016

1. INTRODUCCIÓN

Minera Panamá S.A. está desarrollando el proyecto Mina de Cobre Panamá en el distrito de Donoso, provincia de Colón, en el sector central-norte de Panamá. El Proyecto excavará y procesará mineral de sulfuro de cobre que ha sido definido en una concesión de 13,000 hectáreas que está ubicada a 120 km al oeste de la Ciudad de Panamá y a 20 km de la costa del mar del Caribe. El proyecto incluye, además, la construcción de instalaciones portuarias, que permitirán la carga de concentrado y la descarga del carbón, asociado con el funcionamiento de la termoeléctrica.

Figura 1. Ubicación del proyecto de Minera Panamá

Estas actividades tienen el potencial de impactar los aspectos biológicos, físico-químicos e hidromorfológicos Del Medio ambiente acuático y, por lo tanto, se necesita un programa de monitoreo para evaluar la efectividad de las medidas de control y mitigación.

En el presente Informe se describe la metodología y resultados obtenidos en el monitoreo completado en el año 2016 durante el final de la estación seca, como parte del Plan de Monitoreo de Ecosistemas de Agua Dulce iniciado en el año 2012[1].

[1] El evento en abril de 2012 se hizo antes de cualquier actividad significativa en el sitio, por lo que sirve como evento de muestreo "antes" o condiciones de referencia (blanco).

Los capítulos principales que contiene el informe son los siguientes:

- Metodología de los trabajos, con una descripción detallada de las metodologías seguidas en los muestreos y análisis físico-químicos –en agua y sedimentos-, biológicos (muestreos de macroinvertebrados, diatomeas bentónicas o perifiton y peces), muestreos hidromorfológicos (hábitat fluvial, vegetación de ribera y mediciones de arraigo[2]) y análisis de metales pesados en agua, sedimento y biota (peces y camarones).

- Resultados obtenidos para cada elemento ambiental estudiado, con especial referencia a los indicadores ambientales y su estado de calidad, ya que son los que permitirán seguir la evolución y la tendencia de la calidad y estado ecológico Del Medio a lo largo del período de actividad de la mina.

- Un análisis de tendencias de los indicadores ambientales, teniendo en cuenta los resultados iniciales del año 2012 y estudios completados en los últimos monitoreos.

- Como trabajo adicional a lo realizado en anteriores monitoreos, estudio del estado ecológico de los ecosistemas fluviales, teniendo en cuenta la valoración del estado de calidad de cada uno de los elementos de calidad físico-químicos, biológicos e hidromorfológicos obtenidos en el año 2016.

Diferentes momentos de los trabajos realizados para el monitoreo de los ecosistemas de agua dulce.

[2] El arraigo se refiere al grado en que los elementos más grandes del sustrato en una corriente o río (piedras, grava) están cubiertos por sedimentos más finos.

2. OBJETIVOS

El objetivo principal es continuar con el Plan de Monitoreo de Ecosistemas de Agua Dulce iniciado en el año 2012, mediante un Programa de Monitoreo de Efectos Ambientales (EEM por sus siglas en inglés) dirigido a asegurar que los controles ambientales para los afluentes, sedimentos y agua y otras medidas de mitigación sean efectivas para la protección de la viabilidad de los ecosistemas acuáticos de agua dulce alrededor de las operaciones de la mina.

Como objetivos específicos se destacan:

- Cumplir los compromisos del EsIA.
- Asegurar que el diseño ambiental y controles implementados sean efectivos para la protección de los ecosistemas acuáticos.
- Desarrollar un programa de monitoreo que permita la evaluación de las tendencias a largo plazo.

De esta forma, se ha continuado con la aplicación de los índices e indicadores ambientales establecidos en el Plan de Monitoreo Ambiental, con el fin de conocer cómo evolucionan en el tiempo y su grado de afectación por las actividades de la mina.

Como objetivo complementario se persigue la valoración del "estado ecológico" de cada uno de los sitios de muestreo, teniendo en cuenta los siguientes elementos de calidad e indicadores o índices:

- Elementos de físico-químicos: parámetros de calidad de agua y metales pesados en agua. sedimentos y biota.
- Elementos de calidad biológicos: macroinvertebrados (índice IBMW/PAN), perifiton (índice IPS) y peces (índice IBI).
- Elementos hidromorfológicos: vegetación de ribera (índice QBR-PAN), hábitat fluvial (índice IHF-PAN) y arraigo (índice de arraigo IA).

Una vez calculados los indicadores de calidad físico-químicos, hidromorfológicos y biológicos, para valorar y diagnosticar el estado ecológico se ha seguido el esquema de toma de decisiones basado en la metodología adoptada en el "Proyecto de Saneamiento de los ríos y quebradas de la Ciudad de Panamá y Del Medio marino de la Bahía de Panamá" del Ministerio de Salud y según los criterios de la Directiva Marco del Agua en Europa (DMA, 200/60/CE).

El estado ecológico de cada uno de los sitios de muestreo se ha clasificado dentro de las cinco clases en función de los resultados obtenidos en cada uno de los indicadores e índices físico-químicos, hidromorfológicos y biológicos: muy bueno, bueno, aceptable, deficiente y malo.

3. METODOLOGÍA DE LOS TRABAJOS

3.1. Actividades realizadas

Para el desarrollo del programa de monitoreo se ha completado una campaña de muestreo al final del período seco y durante los días 30 de abril al 5 de mayo de 2016.

De acuerdo con el EEM, la campaña de muestreo fue diseñada para caracterizar tres tipos de variables o elementos de calidad:

1) Elementos físico-químicos.

2) Elementos biológicos.

3) Elementos hidromorfológicos.

Si bien los elementos físico-químicos han sido los que tradicionalmente se han empleado para el seguimiento de la calidad de las aguas, la información que ofrecen refleja un estado puntual de las condiciones del elemento agua. Por ello, esta información se ha complementado con la aportada por elementos biológicos e hidromorfológicos, que aportan una visión integrada del estado ecológico de las masas superficiales a medio y largo plazo.

Los parámetros que se han analizado dentro del grupo de elementos físico-químicos incluyeron medidas in situ de parámetros físico-químicos, toma de muestras y análisis de parámetros generales de calidad en agua y análisis de metales pesados en agua, sedimentos y biota (peces y camarones).

Dentro de los elementos de calidad biológica se han tomado muestras y estudiado en el laboratorio los macroinvertebrados bentónicos, según procedimientos estándares internacionales y recomendaciones del Instituto Commemorativo Gorgas de Estudios de la Salud (ICGES). Igualmente, se han incluido el estudio de las diatomeas bentónicas o perifiton y las comunidades de peces.

En el tercer grupo –elementos hidromorfológicos- se han obtenido las variables del hábitat físico fluvial que se requiere para la determinación de los índices de calidad hidromorfológicos. Asimismo, se continúa en este trabajo con el estudio de arraigo para la evaluación de la erosión y de la condición relativa del hábitat.

Para los valores de referencia o guía de los parámetros de calidad de aguas (físico-químicos) se ha empleado la siguiente normativa vigente en Panamá, así como normativa específica de referencia para niveles de metales pesados en sedimentos.

- Agua: Norma primaria de calidad ambiental y niveles de calidad para las aguas continentales de uso recreativo para la categoría “sin contacto directo”. Decreto Ejecutivo Nº 75 de 4 de junio de 2008.
- Sedimentos: Protocolo del Consejo Canadiense del Ministerio del Ambiente (CCME) y Ley holandesa de suelos contaminados: “Soil Clean-Up Act.1983”.

Para los indicadores biológicos (macroinvertebrados), se han utilizado las clases de calidad de macroinvertebrados propuestas por el ICGES para el índice BMWP/PAN (propio de

Panamá), el índice de calidad del perifiton (IPS) y un índice para las comunidades de peces basado en diferentes atributos y características estructurales y fisiológicas (índice IBI).

Por su parte, para evaluar la calidad hidromorfológica se han empleado los valores de clases de calidad para los índices hidromorfológicos (índices QBR-PAN e IHF-PAN) adaptados recientemente a las aguas de Panamá.

Asimismo, con el fin de tener una visión global y sintética de las condiones ambientales de los medios acuáticos que incluyera los tres elementos estudiados (físico-químicos, biológicos e hidromorfológicos), se ha determinado el estado ecológico de las masas de agua continentales siguiendo los criterios de la Directiva Marco del Agua (DMA) en la Unión Europea, adaptadas al caso de las aguas en Panamá.

3.2. Sitios de muestreo

El diseño original de los emplazamientos de cada punto realizado en el año 2012 dependió del establecimiento de sitios de muestreo cercanos al proyecto (Punto de Muestreo Cercano, PMC), sitios de muestreo río abajo (Punto de Muestreo Lejano, PML) y sitios de muestreo de referencia (REF) que son áreas no influenciadas por el proyecto.

Estos sitios de muestreos se ubicaron dentro de los cauces receptores de las principales subcuencas afectadas por el proyecto (**Figura 2**) que incluyen:

- Subcuenca del río Caimito: incluye el río Del Medio o Uvero (PMC-Caimito) como sitio de muestreo cercano y el propio río Caimito (PML-Caimito) como sitio de muestreo lejano, que reciben las aguas de descarga de relaves.

- Subcuenca del río Botija: incluye el propio río Botija (PMC-Botija) como sitio de muestreo cercano, que recibe las descargas, y más alejado el río San Juan de Turbe (PML-Botija) como sitio de muestreo lejano.

- Subcuenca del río Petaquilla: con el río Petaquilla en un punto cercano que recibe descargas de los tajos Colina y Valle Grande y minería ilegal (PMC-Petaquilla) y un punto adicional a los empleados en anteriores monitoreos situado más alejado aguas abajo (PML-Petaquilla).

- Subcuencas de referencia: en las que se han seleccionado los ríos Hoja (REF-Hoja) y Rinconcito (REF-Rinconcito) no afectados por las actividades del proyecto.

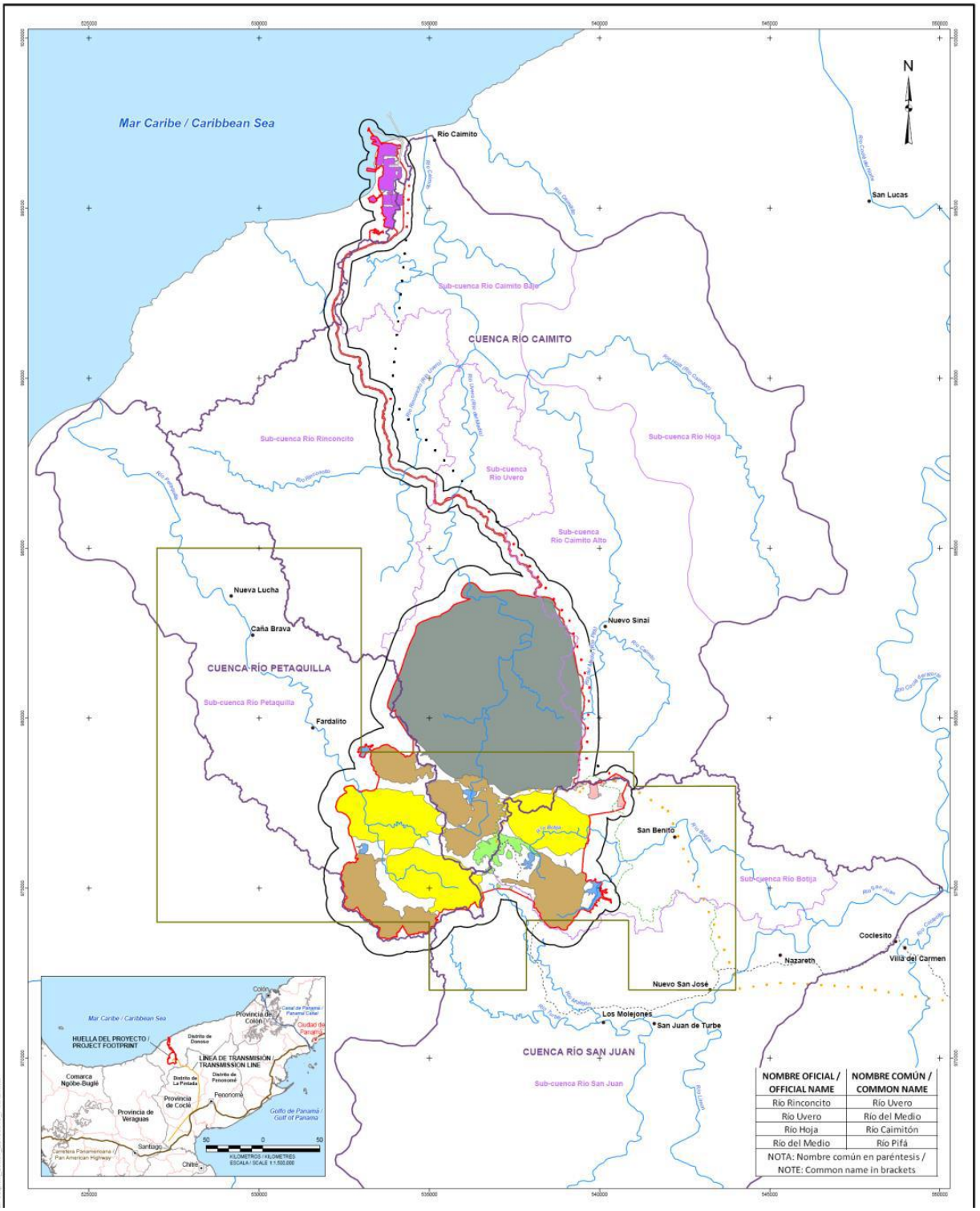


Figura 2. Ubicación de las subcuencas afectadas por las actividades del proyecto (minas a cielo abierto de color amarillo, áreas de depósito de roca estéril de color chocolate y área de gestión de relaves de color gris.

En la línea base del 2012, se plantearon siete (7) sitios de muestreo, que para el presente monitoreo de 2016 se han ampliado a ocho (8) sitios, incluyendo un (1) punto adicional en el río Petaquilla (PML-Petaquilla) aguas abajo del punto inicialmente establecido, que se sigue manteniendo (PMC-Petaquilla).

En el el **Cuadro 1** se indican las principales características de los sitios y en el **Anexo 1** se recoge una FICHA DESCRIPTIVA para cada uno.

CUADRO 1. CARACTERÍSTICAS DE LOS SITIOS DE MUESTREO

NOMBRE (CÓDIGO SITIO)	RÍO	TIPO DE PUNTO	COORDENADAS		DESCRIPCIÓN Y CÓDIGO CADENA DE CUSTODIA DE MUESTRAS
			ESTE	NORTE	
REF-Hoja	Río Hoja	Referencia	537121	990012	Ubicado sobre el brazo principal Código cadena custodia: 1HO
REF-Rinconcito	Río Rinconcito	Referencia	535002	989768	Ubicado sobre un pequeño tributario. Código cadena custodia: 1RI
PMC-Caimito	Ríos Del Medio y Caimito	Punto de Muestreo Cercano	536373	988352	Sobre río Del Medio o Uvero, aguas abajo de la descarga de los relaves. Código cadena custodia: 3CA
PML-Caimito		Punto de Muestreo Lejano	536244	991898	Ubicado sobre el cauce del río Caimito. Código cadena custodia: 4CA
PMC-Botija	Ríos Botija y San Juan	Punto de Muestreo Cercano	541972	976567	Sobre el río Botija, aguas abajo del tajo, en San Benito. Código cadena custodia: 5BO
PML-Botija		Punto de Muestreo Lejano	549121	974840	Sobre el río San Juan de Turbe, más alejado del tajo. Código cadena custodia: 6BO
PMC-Petaquilla	Río Petaquilla	Punto de Muestreo Cercano	531420	980178	Sobre el cauce del río Petaquilla, en campamento Lata, aguas abajo de los tajos Colina y Valle grande. Código cadena custodia: 7BO
PML-Petaquilla		Punto de Muestreo Lejano	529595	982766	Ubicado aguas abajo en el río Petaquilla. Código cadena custodia: 8BO

En la **Figura 3** se muestran las ubicaciones de los sitios de muestreo seguidos en el año 2016.

Para su ubicación, se ha generado un Modelo Digital del Terreno (MDT) a partir de la información cartográfica disponible, sobre el que se ha georeferenciado cada sitio de muestreo con la ayuda de un Sistema de Información Geográfica (SIG) en soporte ARCGIS en su última versión.

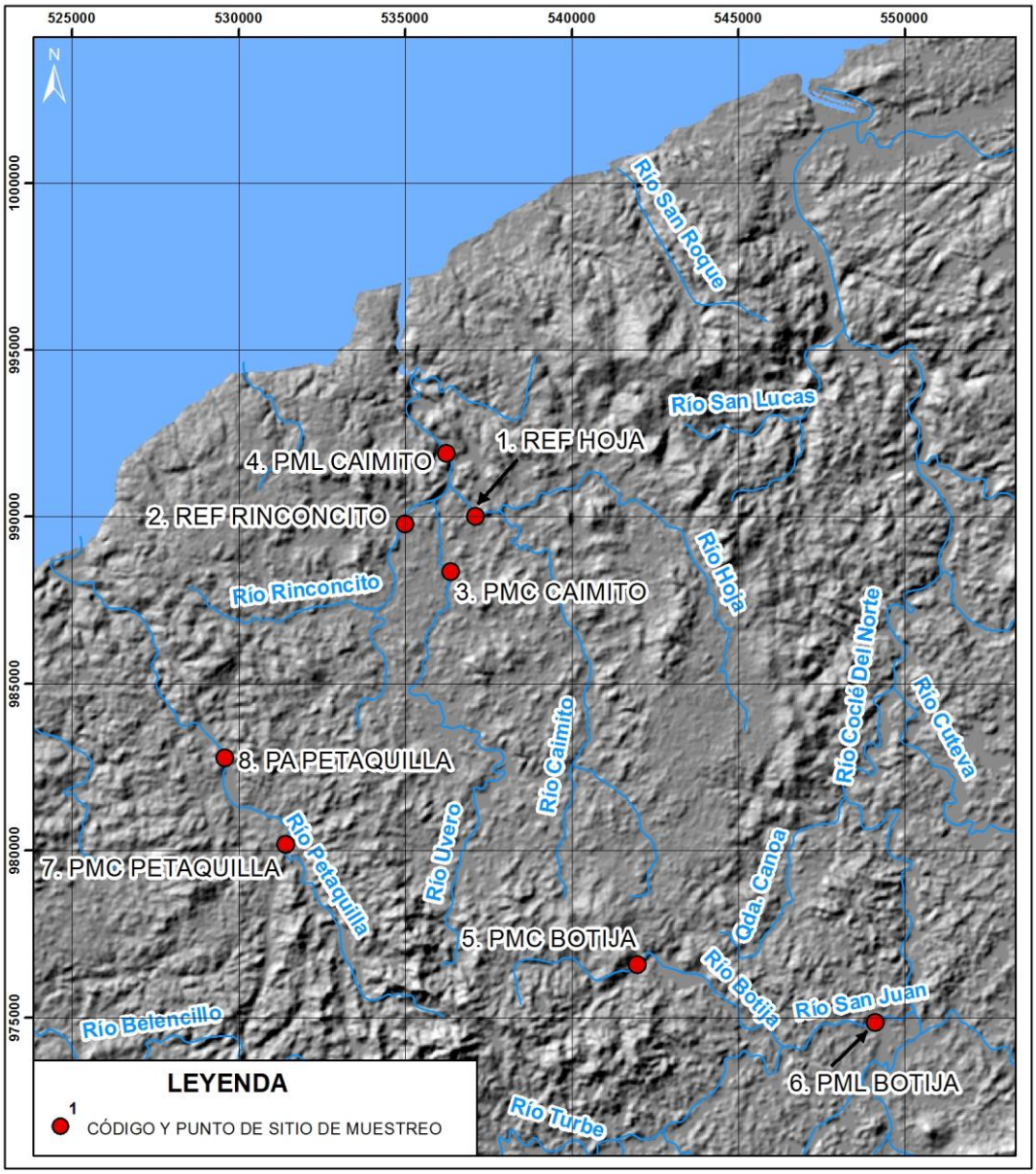


Figura 3. Localización de los sitios de muestreo propuestos sobre MDT en entorno SIG.

El conjunto de los muestreos fue llevado a cabo por un equipo de cuatro técnicos cualificados, más dos personas de apoyo, siguiendo los procedimientos estipulados en los TdR de la consultoría y normas de calidad UNE/EN/ISO 17020 y 17025. Para optimizar el trabajo, las tareas fueron divididas entre los técnicos, realizando dos de ellos el muestreo de elementos biológicos y los otros dos la caracterización físico-química y del hábitat fluvial. En todo momento se contó con el inestimable apoyo y medios (personal, instalaciones, helicóptero, embarcación, etc) de MINERA PANAMÁ, a la que se traslada todo el agradecimiento y consideración.

3.3. Metodología de estudio de elementos físico-químicos

Durante la realización de la campaña, y en cada sitio de muestreo, se llevaron a cabo medidas *in situ* con un equipo y sonda multiparamétrica (HORIBA U22) de los siguientes parámetros físico-químicos de calidad de aguas:

- Temperatura del agua (ºC)
- pH (en unidades pH)
- Oxígeno disuelto (mg/L y % saturación)
- Conductividad (µS/cm)
- Sólidos totales disueltos (g/L)
- Turbidez (NTU)
- Salinidad (ppt)
- Potencial redox (mV)

El método consistió en la introducción del cable-sonda en el agua, siempre que fue posible, en una zona de mezcla y a una profundidad aproximada de 0,20 m. El registro de datos se produjo una vez estabilizados los valores medidos. Después de cada muestreo los electrodos fueron lavados con agua destilada. La sonda se calibró todas las mañanas antes de comenzar la jornada de campo, y se verificó al final de la misma, empleando siempre patrones al efecto. También se evaluó el color aparente del agua mediante interpretación visual directa.

Medidas in situ con equipos multiparamétricos de calidad de aguas.

Por otra parte, en cada sitio de muestreo se tomaron muestras de agua para analizar los siguientes parámetros físico-químicos en el laboratorio: TSS, DOC, Sólidos en Suspensión (SS), dureza, alcalinidad, amoniaco, nitrato, nitrógeno Kjeldahl, fósforo total y total de metales pesados. Las lista de metales pesados para los análisis de agua fueron: Ag, Al, As, B, Ba, Be, Cd, Co, Cr, Cu, Fe, Hg, Mn, Mo, Ni, Pb, Sb, Se y Zn.

Las muestras de agua recogidas se conservaron con conservantes adecuados en recipientes de plástico y vidrio (según analito) correctamente identificado y almacenado en nevera refrigerada a 4ºC hasta su entrega en el laboratorio correspondiente. Se han seguido los métodos de conservación para cada parámetro indicados en el Decreto Ejecutivo Nº 75 de 4 de junio de 2008, Reglamentos Técnicos DGNTI-COPANIT y última actualización de Standard Methods. Los métodos de análisis y límites de cuantificación se incluyen en el **Cuadro 2**.

CUADRO 2. MÉTODOS DE ANÁLISIS QUÍMICO Y LÍMITES DE CUANTIFICACIÓN EN AGUA

PARAMETRO	ABREVIATURA	UNIDADES	METODO DE ANÁLISIS	LC*
Fósforo total*	PT	mg/L	Método Estándar HACH 8048	< 0,02
Nitrógeno Amoniacal	NH4	mg/L	Método Estándar 4500 NH3C	< 0,02
Nitratos*	NO3	mg/L	Método Estándar HACH 8039	<0,3
Nitógeno orgánico	NORG	mg/L	Método Estándar 4500 org	<0,2
Sólidos en suspensión	SS	mg/L	Método Estándar 2540 D	<1
Carbono orgánico disuelto	DOC	mg/L	Método Estándar 5310	<1
Dureza	DUR	mg/L $CaCO_3$	Método Estándar 2340	<5
Alcalinidad	ALC	mg/L $CaCO_3$	Método Estándar 2320	<10

* Lc: Límite de Cuantificación. * Analizados en menos de 3-4 h del muestreo

Igualmente, se tomaron muestras de sedimento en los sitios de muestreo para el análisis de los siguientes parámetros: carbono orgánico total (COT) y metales: Ag, Al, As, B, Ba, Be, Cd, Co, Cr, Cu, Fe, Hg, Mn, Mo, Ni, Pb, Sb, Se y Zn. Las muestras de sedimentos se recogieron con una pala de teflón en las zonas centrales de los cauces de los ríos y quebrada. Las muestras recogidas se conservaron en recipientes de plástico y vidrio (según analito) correctamente identificados y almacenadas en neveras refrigeradas hasta su entrega en el laboratorio.

Con el fin de evaluar si las operaciones están desplazando metales se ha llevado a cabo el muestreo y análisis del tejido de peces y macroinvertebrados, a partir de las capturas de ejemplares realizados en los muestreos con pesca eléctrica. Para peces, se recolectaron ejemplares de guabinas (*Gobiomorus dormitor*) y para camarones ejemplares de *Macrobrachium spp*. Los metales analizados en peces y camarones han sido los siguientes: Al, As, Ba, Be, Cd, Co, Cr, Cu, Fe, Hg, Mn, Mo, Ni, Pb, Se, V y Zn.

Las muestras de peces y camarones se lavaron previamente con agua desionizada. En los peces, se extrajeron los tejidos musculares por encima de la línea lateral y a nivel del inicio de la aleta dorsal del pez completo, utilizando un cuchillo limpio de acero inoxidable. En los camarones, los tejidos se extrajeron después de remover las visceras y las conchas, utilizando un cuchillo limpio de acero inoxidable. Con los tejidos extraídos se formaron un pool de 3 organismos para cada una de las especies de peces y de 5 para los camarones. Los cortes se introdujeron en bolsas de polietileno y se congelaron a –20° C hasta su envío al laboratorio. Una vez en el laboratorio, las muestras se secaron hasta peso constante a 80° C utilizando una estufa, maceradas en un mortero de porcelana y homogenizadas, hasta obtener 2 g de muestra seca.
Posteriormente al secado, las muestras se trituraron con mortero de porcelana o en molinillo eléctrico, separando las porciones más gruesas. Finalmente, se pasaron por un

tamiz de 0.063 mm para obtener la fracción fina. Se pesaron 0,30 ± 0,01 gramos de la muestra (fracción de 0,063 ó 0,4 mm) y se colocaron en un reactor de PTFE del microondas. A continuación, se adicionaron 10 mL de HNO_3 y 2 mL de H_2O_2, se cierra herméticamente y se realiza la mineralización. Después de mineralizar la muestra, el residuo obtenido se filtra y se lleva a un matraz de 100 mL. Después, se enrasa con agua destilada. La muestra está en disolución, preparada para el análisis. El análisis de las muestras se llevó a cabo en un ICP-MS (Espectrometría de Masas con fuente de Plasma de Acoplamiento Inductivo). Modelo Perkin Elmer NexION 300.

Los límites de cuantificación para los diferentes metales analizados en agua, sedimentos y biota (peces y camarones) son los siguientes (ver **Cuadro 3**), siempre referidos a peso seco.

CUADRO 3. LÍMITES DE CUANTIFICACIÓN PARA LOS DIFERENTES METALES ANALIZADOS

ANALITO	UNIDADES	LÍMITE DE CUANTIFICACIÓN (LC en mg/Kg peso seco)
Al	mg/Kg	6,9
As	mg/Kg	0,69
B	mg/Kg	6,9
Cd	mg/Kg	0,69
Cr	mg/Kg	3,6
Cu	mg/Kg	1,8
Fe	mg/Kg	6,9
Hg	mg/Kg	0,06
Mn	mg/Kg	3,6
Ni	mg/Kg	3,6
P	mg/Kg	3,6
Pb	mg/Kg	0,69
Sb	mg/Kg	0,69
Sn	mg/Kg	0,69
Zn	mg/Kg	3,6

3.4. Metodología de estudio de elementos biológicos

3.4.1. Protocolo de muestreo de macroinvertebrados

Para el muestreo de macroinvertebrados se ha empleado la metodología de *hábitat múltiple*, que implica el uso de una red acuática tipo D. Se centra en un esquema multihábitat diseñado para muestrear los hábitats mayoritarios con una representación proporcional a su presencia en el tramo de muestreo.

La estación de muestreo en cada uno de los sitios ha sido un tramo seleccionado de 100 m representativo de las características del cuerpo de agua. El tramo presentará los tipos de hábitat más frecuentes en el cuerpo de agua, de modo que existan duplicados de elementos físicos y estructurales (por ejemplo la secuencia rápido-poza, etc.). Se han tenido en cuenta los siguientes cinco grupos (ver **Figura 4**):

- Sustratos duros: predominantes en zonas de rápidos, característicos de la mayor parte de los cauces de montaña y piedemonte.
- Detritos vegetales: los detritos y otros restos vegetales que han permanecido sumergidos durante un tiempo relativamente largo (no recién caídos), proporcionan una excelente colonización.
- Orillas vegetadas: bancos sumergidos, con raíces y plantas emergentes asociadas a ellos.
- Macrófitos sumergidos: son estacionales y pueden no estar presentes en todos los cauces, particularmente en los de tramo alto.
- Arena y otros sedimentos finos: normalmente el hábitat de macroinvertebrados menos productivo. Puede ser el predominante en algunos cauces.

Muestreo de macroinvertebrados.

[3] Protocolo para Macroinvertebrados Bénticos del Protocolo de Rápida Bio-evaluación para ser Utilizado en Quebradas y Ríos: Perifiton, Macroinvertebrados Bénticos y Peces, de la Agencia para la Protección Ambiental de los Estados Unidos (EPA, por sus siglas en inglés) (EPA-Barbour et al., 1999).

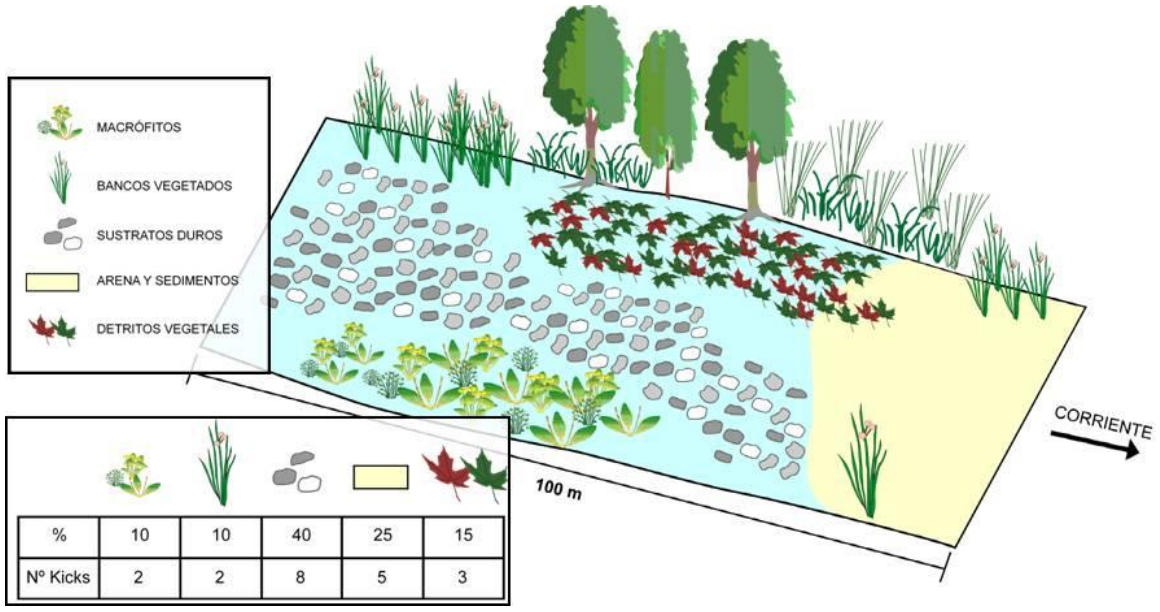


Figura 4. Repartición de los kicks o unidades de muestreo entre los diferentes hábitats.

Se ha repartido las 10 unidades de muestreo que se van a realizar (kicks) entre los distintos tipos de hábitats presentes en el tramo. Dicha distribución se hace de forma proporcional al área ocupada por cada uno de dichos hábitats, de manera que cada kick corresponde al 5% de la superficie de cobertura de un hábitat. Los tipos de hábitats antes mencionados pueden subdividirse en función de las variaciones observadas en el campo y esto deberá reflejarse en la manera de repartir las unidades de muestreo.

Cada unidad de muestreo (kick) incluye la remoción del sustrato situado en el medio metro delante de la boca de la red. Dado que la red a emplear ha de tener una base de 0,2 m y que se muestrearán 10 kicks repartidos proporcionalmente en los tipos de hábitat indicados, en total se muestrean 1,0 m^2 (10 unidades • 0,5 m • 0,2 m). El muestreo se realiza de aguas abajo hacia aguas arriba teniendo en cuenta las unidades de muestreo previamente definidas.

Para todas las muestras se ha realizado inventario de los taxones presentes a nivel de familia y sus abundancias. Con dichos inventarios se han calculado los índices que se están emplando en Panamá en las diferentes redes biológicas con el fin de que los datos puedan compararse y, de esta manera, poder seguir la evolución de la calidad de los ríos objeto de estudio. La evaluación estadística de los datos bentónicos estará basada en la siguiente métrica:

- Densidad total de los invertebrados;
- Densidad de los principales grupos taxonómicos;
- Riqueza de los taxones;
- Diversidad y uniformidad según Simpson;
- Índice de Similitud de Bray Curtis;
- Taxones de efímeras, plecópteros y tricópteros (EPT) y la abundancia de los grupos individuales y

- Cantidad de taxones quironómidos y su abundancia.
- Nuevo índice en base a macroinvertebrados de Panamá (BMWP/PAN)[4].

3.4.2. Protocolo de muestreo de diatomeas bentónicas

La metodología utilizada para realizar los muestreos de diatomeas bentónicas (perifiton) ha seguido el Protocolo de muestreo y laboratorio de flora acuática (organismos fitobentónicos) en ríos código: ml-r-d-2013 del Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente de España. Por su parte, para el cálculo del IPS de calidad de aguas para el perifiton se ha seguido el Protocolo de cálculo del índice de polusensibilidad específica código: IPS-2013 del Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente de España.

Se analizaron las muestras de perifiton para definir el contenido de clorofila αy una submuestra se utilizó para el análisis taxonómico según métodos normalizados (Standard Methods, 22 ed.).

Toma de muestras de diatomeas en sustratos expuestos del río.

[4] Cornejo R., A. 2010. Macroinvertebrados acuáticos bioindicadores de la calidad del agua en Panamá: Propuesta de Indice BMWP/PAN. Reunión especial: Macroinvertebrados dulceacuícolas en Mesoamérica (MADMESO), 15-19 de junio, 2010, Villahermosa, Tabasco, Méjico.

3.4.3. Protocolo estudio de peces

Para el estudio de peces se realizaron capturas con pesca eléctrica en un tramo de 100-300 m de longitud, empleando un equipo de muestreo Smith Root, modelo LR-20B, que ha sido facilitad por MINERA PANAMÁ. El equipo está compuesto por un generador de potencia conectando a un transformador-rectificador, para rectificar a corriente continua la alterna suministrada por éste. Con objeto de no dañar a los individuos y reducir el riesgo entre los muestreadores se utilizaron intensidades inferiores a 1-2 A y voltajes variables -380, 220 o 125 V-.

En cada tramo se realizó una sola pasada, que incluyó el muestreo de todos los hábitats de los peces. Se recolectaron diversas poblaciones de peces y atributos de las comunidades, lo que permitió calcular el esfuerzo de pesca por unidad (EPPU). Los peces enteros se midieron con un ictiómetro de ± 1 mm y se pesaron al 0.001 g más cercano empleando una balanza portátil que permitió una medición con una precisión de ± 5%.

Muestreo de peces con la técnica de pesca eléctrica y medida de parámetros bionómicos en los peces capturados.

Se evaluó su estado de salud mediante la observación de anormalidades externas, tales como parásitos. malformaciones, tumores o cicatrizaciones. Igualmente, se calculó el índice gonadal somático (IGS) tanto a hembras como a machos de todos los estadíos de madurez, utilizado para estimar las épocas de desove, según la fórmula de Holden y Raitt (1975):

$$IGS = \text{Peso gonadal} \times 100 / (\text{Peso corporal} - \text{Peso gonadal})$$

De forma adicional, se utilizó como medida de salud de los peces el factor de condición, mediante la fórmula:

$$\text{Factor de Condición} = \text{Peso corporal} \times 100 / (\text{longitud total})$$

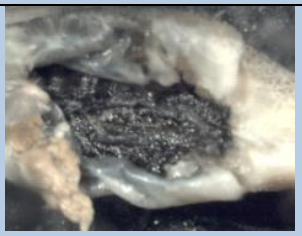
Se empleó un sistema adicional para calcular las épocas de desove a partir de una escala estándar de estados de maduración gonadal de cinco fases: inmaduro, virgen madurando o recuperado, maduro, hidratado y en regeneración (Adaptada de Holden y Raitt, 1975). Se observó el estado de madurez en que se encontraban los individuos tanto hembras como machos y se elaboró una escala de maduración, adaptando la encontrada en Holden y Raitt, 1975. Se graficó la cantidad de machos y hembras en cada estado de madurez en

cada sitio. Para estimar la fecundidad se utilizaron las hembras en fase hidratada (IV) a las cuales se le extirparon las gónadas y se pesaron. Se pesó 0.01 g de una gónada y se realizó un conteo aproximado de huevos, en base a este conteo se estimó la cantidad de huevos con el peso de la gónada entera.

ESCALA EMPÍRICA DE MADUREZ SEXUAL PARA LAS HEMBRAS DE LA ESPECIE CENTINELA (SICYDIUM ALTUM), ADAPTADA DE HOLDEN Y RAITT, 1975.

FASE	ESTADO	ASPECTO GENERAL	FOTO
I	Inmaduro	Ovarios ocupan cerca de 1/3 de la longitud de la cavidad abdominal, ovocitos invisibles a simple vista.	
II	Madurando/ recuperación	Ovarios ocupan casi la mitad de la longitud de la cavidad abdominal, ovocitos visibles a simple vista.	
III	Maduro	Los ovarios cubren cerca de 2/3 de la cavidad abdominal. Aspecto granular, ovocitos visibles. Los ovocitos son grandes e identificables a simple vista.	
IV	Hidratado/ Desovando	Los ovarios ocupan toda la cavidad abdominal. Los ovocitos son de mayor tamaño que los de una gónada madura.	
V	Regeneración/Reversión	Ovarios flácidos, distendidos, contraídos a la mitad de la cavidad abdominal. Los ovarios pueden contener aún restos de ovocitos opacos, maduros y en desintegración. Este ovario pasa a la etapa II de esta escala.	

ESCALA EMPÍRICA DE MADUREZ SEXUAL PARA LOS MACHOS DE LA ESPECIE CENTINELA (SICYDIUM ALTUM), ADAPTADA DE HOLDEN Y RAITT, 1975).

FASE	ESTADO	ASPECTO GENERAL	FOTO
I	Inmaduro	Testículos muy pequeños, delgados y transparentes, situados cerca de la columna vertebral.	
II	Madurando/ recuperación	Testículos sin zonas blancas, presentan un borde posterior liso unido al mesenterio y un borde anterior acintado que forman repliegues en forma de “S”.	
III	Maduro	Testículos desarrollados, abultados.	
IV	Hidratado/ Desovando	Testículos desarrollados de aspecto suave, cremoso.	
V	Regeneración/ Reversión	Testículos vacíos de gran tamaño, flácidos.	

3.5. Metodología estudio elementos hidromorfológicos y arraigo

En el presente programa se ha procedido a evaluar y analizar los aspectos relacionados con la calidad hidromorfológica y del hábitat fluvial de los ríos potencialmente afectados por las actividades de la mina y sitios de referencia, divididos en elementos propios del cauce y de aquellos característicos de las riberas de los ríos.

Para ello, se utilizaron dos índices adaptados a las aguas de Panamá que, a partir de la estimación visual de determinados rasgos fisonómicos y estructurales así como de su heterogeneidad, emiten un número entre 0 y 100 estimativo de la calidad del cauce (índice IHF-PAN) y de las riberas del río (índice QBR-PAN)[5].

La predominancia de características indicativas de heterogeneidad, diversidad o inalterabilidad de estos ecosistemas se traduce en valores altos de sendos índices. Por el contrario, los ambientes alterados, homogéneos y simplificados en su estructura y diversidad, obtienen puntuaciones más bajas. Dichas evaluaciones quedaron reflejadas en las fichas de campo respectivas.

Por su parte, las mediciones de arraigo de la corriente se han realizado para brindar una evaluación de la erosión y de la condición relativa del hábitat. Las secciones de los ríos que tienen un bajo contenido de sedimentos y/o las corrientes de gran velocidad generalmente tienen poco arraigo, mientras que las secciones que tienen un alto contenido de sedimentos y/o velocidades más bajas generalmente tienen un arraigo más alto. Los sustratos con alto arraigo brindan una baja calidad del hábitat para los macroinvertebrados y peces por la poca disponibilidad de espacios intersticiales.

Debido a la gran cantidad de vegetación y roca que serán movidos durante la construcción de la mina, existe la posibilidad de un aumento en la carga de sedimentos en las corrientes que lo reciben. El aumento en la carga de sedimentos ejercerá el mayor impacto en el hábitat de adoquín/grava (guijarro/cascajo) donde se llenan los espacios intersticiales. Las áreas con fondo lodoso o arenoso tienen menor riesgo de ser impactadas por el aumento en la carga de sedimentos.

Los valores de referencia de arraigo fueron establecidos en el año 2012 en tres de las cinco estaciones de macroinvertebrados bentónicos en los sitios de muestreo cercano y áreas de referencia. Para evitar subjetividad de las evaluaciones visuales de arraigo se estableció una medición cuantitativa en el 2012.

[5] Los índices se han desarrollado por EES INTERNATIONAL, SA y aplicado y validado en el Proyecto de Saneamiento de la Ciudad y Bahía de Panamá, bajo la supervisión de MiAmbiente y el Instituto Gorgas de Estudios de la Salud en el año 2015.

Este método se lleva a cabo de la siguiente manera:

Se inserta un tubo central de 18 cm de diámetro a 10 cm dentro del sustrato, que es la misma profundidad a la que se hace el muestreo de macroinvertebrados bentónicos. El fondo del núcleo está sellado y se elimina del río el sustrato. A continuación, el sustrato se lava a través de una serie de tamices que separan el sustrato en adoquín/grava (> 4 mm) arena muy gruesa (1 a 4 mm), arena gruesa (500 µm a 1 mm), arena mediana (250 µm a 500 µm) y arena fina (< 250 µm). También se deben tomar fotografías del grado de arraigo en cada una de las áreas seleccionadas además de las coordenadas GPS.

Muestreo del lecho y sustrato del río para la valoración del arraigo.

Alteraciones puntuales por extracción de minería artesanal en la margen derecha del río Petaquilla en el Campamento Lata que han podido afectar al arraigo del sustrato.

4. RESULTADOS

4.1. Elementos físico-químicos

4.1.1. Condiciones de los muestreos y medidas in situ

Los resultados de las medidas in situ de los parámetros físico-químicos y resumen de las condiciones ambientales en las que se efectuaron los muestreos se incluyen en el **Cuadro 4**.

Los muestreos se desarrollaron al final de la estación seca, entre el 30 de abril y el 5 de mayo de 2016 de forma ininterrumpida. Durante este período, las condiciones atmosféricas fueron muy similares, con cielos despejados o poco nublados (< 20% nubes), en general ausencia de lluvias con presencia ocasional de algún chaparrón y una temperatura ambiente en el rango de 28-31ºC.

Los flujos estimados de agua para los ríos Rinconcito, Petaquilla, Botija y Del Medio fueron medios-bajos y propios de una época que se corresponde con el final de la estación seca, con caudales del orden de 1,0-2,0 m^3/s. Destaca el moderado caudal de los ríos Caimito y San Juan, con valores estimados de 23 y 25 m^3/s respectivamente.

Las medidas de parámetros físico-químicos del agua efectuadas con sonda multiparamétrica in situ, indica que las aguas de los ríos estudiados presentan moderada a alta concentración de oxígeno disuelto (75-97% de saturación), bajas conductividades (84-180 µS/cm) y un pH próximo al neutro (6,7-7,3 unidades pH). Por tanto, son aguas bien oxigenadas y de baja carga iónica.

Se aprecian claras diferencias entre el contenido de sólidos en suspensión y la turbidez, destacando los bajos valores registrados en los ríos Rinconcito y Petaquilla (propios de aguas muy limpias), valores moderados-bajos en los ríos Botija y San Juan (con aguas turbias de color marrón claro) y bajos-moderados valores en los ríos Hoja, Del Medio y Caimito (tramo bajo), con moderada turbidez y color marrón del agua.

Se destaca que en ningún río se incumplen los límites para temperatura (variaciones superiores a 3º de las condiciones naturales), pH (6,5-8,5 unidades pH), turbiedad (50-100 NTU), sólidos en suspensión (< 50 mg/L) y oxígeno disuelto (6-7 mg/L) del Decreto Ejecutivo Nº 75 de 4 de junio de 2008.

CUADRO 4. MEDIDAS IN SITU DE PARÁMETROS FÍSICO-QUÍMICOS Y CONDICIONES DE LOS MUESTREO												
NOMBRE	**FECHA DE MUESTREO**	**RIO**	**COND. MUESTREO**	**pH**	**TURBIEDAD (NTU)**	**T (ºC)**	**COND. (µS/cm)**	**OD (mg/L)**	**OD (% SAT)**	**TDS (g/L)**	**POTENCIAL REDOX (MV)**	**COLOR AGUA**
REF-Hoja	1/05/2016	Hoja	Despejado	7,1	72	22,2	137	6,6	75,3	0,09	-200	Marrón
REF-Rinconcito	4/05/2016	Rinconcito	Despejado	6,9	<5	27,6	108	6,6	81,4	0,07	23	Sin color
PMC-Caimito	4/05/2016	Rio Del Medio	Despejado	7,1	74	28,4	108	6,9	87,3	0,70	-16	Marrón
PML-Caimito	3/05/2016	Caimito	20% Nubes	7,0	64	29,2	180	6,7	85,8	0,12	-19	Marrón
PMC-Botija	5/05/2016	Botija	20% nubes	7,3	48	30,0	134	7,4	97,3	0,09	-57	Marrón claro
PML-Botija	5/05/2016	San Juan	Despejado	6,9	47	27,8	89	6,9	85,1	0,06	29	Marrón claro
PMC-Petaquilla	30/04/2016	Petaquilla	Despejado	6,8	<5	28,5	84	6,2	78,4	0,05	-943	Sin color
PML-Petaquilla	2/05/2016	Petaquilla	Despejado	6,7	<5	29,4	165	6,3	80,7	0,1	10	Sin color

NOTA. Se indica con un sombreado en verde que se cumple con el nivel de calidad establecido para el parámetro en el Decreto Ejecutivo Nº 75 de 4 de junio de 2008.

4.1.2. Química del agua

En el **Anexo 2** se incluyen los Informes de Ensayo de los análisis de laboratorio de todos los análisis realizados en agua. En el **Cuadro 5** se muestran los resultados de los análisis químicos en el agua.

CUADRO 5. RESULTADOS DE LOS ANÁLISIS QUÍMICOS EN AGUA

CÓDIGO	RIO	DUREZA (mg/l CaCO3)	ALCAL. (mg/l $CaCO_3$)	SS (mg/L)	NH_4 (mg/L N)	NO_3 (mg/L N)	N.Kjeld. (mg/L N)	PO_4 (mg/L PO_4	P_{total} (mg/L)	COD (mg/L)
REF-Hoja	Hoja	24	20	2,7	0,03	<0,3	0,45	0,30	0,09	6,3
REF-Rinconcito	Rinconcito	15	<10	6,0	0,07	0,5	0,34	0,23	0,07	5,7
PMC-Caimito	Del Medio	26	21	48,7	0,05	9,4	0,36	1,43	0,46	6,1
PML-Caimito	Caimito	34	26	9,3	0,02	0,6	0,40	0,19	0,06	4,8
PMC-Botija	Botija	22	16	5,7	0,08	<0,3	0,47	0,02	<0,02	3,9
PML-Botija	San Juan	18	14	9,0	0,04	<0,3	0,23	0,14	0,04	4,5
PMC-Petaquilla	Petaquilla	15	12	<5	<0,01	1,6	0,20	0,13	0,04	2,1
PA-Petaquilla	Petaquilla	<10	<10	<5	<0,01	<0,3	0,21	1,02	0,33	2,4

NOTA. Se indica con un sombreado en verde que se cumple con el nivel de calidad establecido para el parámetro en el Decreto Ejecutivo Nº 75 de 4 de junio de 2008.

Las aguas se caracterizan por su baja dureza y contenido en nutrientes, con escaso contenido en carbono orgánico disuelto (COD) en todas las estaciones. Los sólidos en suspensión han sido bajos, con excepción de la estación PMC-Caimito que recibe las aguas con altos contenidos en sólidos, pero con valores inferiores a 50 mg/L que establece el Decreto Ejecutivo Nº 75 de 4 de junio de 2008.

No se han encontrado diferencias significativas con otros monitoreos, sino aquellas relacionadas por aumentos puntuales de los sólidos y nutrientes debidos a arrastres naturales en episodios de fuertes lluvias, en los que las concentraciones de estos parámetros pueden superar los valores límites que se han tomado como referencia.

En los **Cuadros 6 y 7** se incluyen los resultados analíticos de metales pesados (disueltos y totales) en agua. Se destaca que todos los metales incluidos en el Decreto Ejecutivo Nº 75 de 4 de junio de 2008 en agua (arsénico, cadmio, cromo, mercurio y plomo) cumplen con los límites de calidad. Para el cobre, y por su interés en este monitoreo, se han obtenido concentraciones por encima del valor de referencia de 0,01 mg/L en los sitios de muestreo REF-Hoja, PMC-Caimito y PMC-Botija,.

CUADRO 6. RESULTADOS DE METALES PESADOS DISUELTOS EN AGUA (ug/L)									
METAL PESADO EN AGUA	UNIDADES	CODIGO SITIOS DE MUESTREO Y RIOS ESTUDIADOS							
		REF-Hoja	REF-Rinconcito	PMC-Caimito	PML-Caimito	PMC-Botija	PML-Botija	PMC-Petaquilla	PML-Petaquilla
		Hoja	Rinconcito	Del Medio	Caimito	Botija	San Juan	Petaquilla	Petaquilla
Aluminio	ug/L	405,00	9,29	1585,00	143,70	261,10	270,90	40,85	36,77
Antimonio	ug/L	0,46	0,56	1,80	0,33	0,26	0,18	0,30	0,10
Arsénico	ug/L	0,46	0,52	0,07	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00
Bario	ug/L	28,09	26,73	44,16	27,52	25,33	22,09	11,02	12,59
Berilio	ug/L	0,02	0,02	0,08	0,02	0,01	0,01	0,01	0,01
Boro	ug/L	<100 (12,72)	<100 (8,349)	<100 (18,58)	<100 (9,625)	<100 (10,71)	<100 (11,34)	<100 (8,182)	<100 (7,241)
Cadmio	ug/L	0,03	0,01	<0,5 (0,082)	0,01	0,04	0,01	0,02	0,06
Cinc	ug/L	5,86	5,34	9,51	3,42	5,71	3,97	7,03	7,27
Cobalto	ug/L	0,54	0,08	1,86	0,22	0,41	0,44	0,15	0,24
Cobre	ug/L	14,67	0,73	39,00	5,68	15,60	4,83	8,39	3,63
Cromo	ug/L	0,51	0,00	1,68	0,08	0,18	0,00	0,00	0,00
Hierro	ug/L	574,10	365,20	1048,00	594,90	315,30	462,40	273,30	508,90
Manganeso	ug/L	79,19	11,53	253,20	47,40	75,31	43,76	46,57	83,53
Molibdeno	ug/L	0,64	<1(0,575)	1,92	<1(0,708)	3,36	<1(0,214)	<1(0,319)	<1(0,287)
Níquel	ug/L	<1 (0,705)	<1(0,103)	1,45	<1(0,26)	0,44	<1(0,228)	<1(0,372)	<1(0,237)
Plata	ug/L	0,04	0,07	0,24	0,03	0,03	0,02	0,02	0,02
Plomo	ug/L	0,34	0,03	0,94	0,14	0,25	0,20	0,07	0,22
Selenio	ug/L	0,34	0,00	0,45	0,17	0,28	0,00	0,34	0,00
Vanadio	ug/L	2,07	0,89	4,97	1,53	0,99	1,53	0,43	0,39
Mercurio	ug/L	< 0,3 (0,0)	< 0,3 (0,0)	< 0,3 (0,0)	< 0,3 (0,0)	< 0,3 (0,0)	< 0,3 (0,0)	< 0,3 (0,0)	< 0,3 (0,0)

NOTA. Se indica con un sombreado en verde que se cumple con el nivel de calidad establecido para el parámetro en el Decreto Ejecutivo Nº 75 de 4 de junio de 2008.

CUADRO 7. RESULTADOS DE METALES PESADOS TOTALES EN AGUA (ug/L)									
METAL PESADO EN AGUA	UNIDADES	CODIGO SITIOS DE MUESTREO Y RIOS ESTUDIADOS							
		REF-Hoja	REF-Rinconcito	PMC-Caimito	PML-Caimito	PMC-Botija	PML-Botija	PMC-Petaquilla	PML-Petaquilla
		Hoja	Rinconcito	Del Medio	Caimito	Botija	San Juan	Petaquilla	Petaquilla
Aluminio	ug/L	2577,00	1305,67	5275,00	634,67	1726,67	1499,67	999,83	235,17
Antimonio	ug/L	8,02	1,14	2,61	1,01	0,76	0,81	0,90	0,77
Arsénico	ug/L	12,37	2,19	11,25	18,40	5,44	4,07	0,00	5,89
Bario	ug/L	49,53	34,82	82,38	42,25	108,25	1253,50	200,50	631,00
Berilio	ug/L	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Boro	ug/L	<100 (0)	<100 (0)	<100 (0)	<100 (0)	<100	<100 (0)	<100 (0)	<100 (0)
Cadmio	ug/L	0,03	0,00	<0,5(0,04)	0,00	0,00	0,00	0,22	0,10
Cinc	ug/L	47,53	27,37	39,50	19,85	46,65	59,33	15,26	50,67
Cobalto	ug/L	1,04	0,36	2,33	0,42	0,74	0,69	0,14	0,23
Cobre	ug/L	25,90	2,79	53,27	7,65	21,88	8,63	12,29	6,15
Cromo	ug/L	2,60	0,00	5,43	0,84	1,43	1,42	0,00	0,08
Hierro	ug/L	2768,67	666,83	3703,33	1412,50	1720,00	1866,67	663,17	1037,33
Manganeso	ug/L	86,97	12,32	258,83	50,50	78,48	38,33	50,37	92,60
Molibdeno	ug/L	3,96	<1(0)	2,95	<1(0,6)	4,26	<1(0,04)	<1(0)	<1(0,17)
Níquel	ug/L	<1 (0,47)	<1(0)	5,42	<1(0)	0,41	<1(0,20)	<1(0)	<1(0)
Plata	ug/L	2,47	1,15	1,11	1,04	1,26	1,50	1,00	1,14
Plomo	ug/L	1,52	1,27	12,55	1,26	1,48	3,13	0,78	2,18
Selenio	ug/L	7,22	2,04	3,89	1,76	1,27	1,19	1,17	2,38
Vanadio	ug/L	6,77	1,38	11,07	3,23	4,60	4,54	1,12	1,20
Mercurio	ug/L	< 0,3 (0,0)	< 0,3 (0,0)	< 0,3 (0,0)	< 0,3 (0,0)	< 0,3 (0,0)	< 0,3 (0,0)	< 0,3 (0,0)	< 0,3 (0,0)

NOTA. Se indica con un sombreado en verde que se cumple con el nivel de calidad establecido para el parámetro en el Decreto Ejecutivo Nº 75 de 4 de junio de 2008.

4.1.3. Metales pesados en sedimento

Por su parte, en el **Cuadro 8** y **Anexo 3** se recogen los análisis de metales pesados totales en sedimentos referido a materia seca (s.m.s.).

CUADRO 8. RESULTADOS DE METALES PESADOS TOTALES EN SEDIMENTOS (mg/Kg m.s.m.)

METAL PESADO EN SEDIMENTOS	UNIDADES	CODIGO SITIOS DE MUESTREO Y RIOS ESTUDIADOS							
		REF-Hoja	REF-Rinconcito	PMC-Caimito	PML-Caimito	PMC-Botija	PML-Botija	PMC-Petaquilla	PML-Petaquilla
		Hoja	Rinconcito	Del Medio	Caimito	Botija	San Juan	Petaquilla	Petaquilla
Aluminio	mg/Kg	11409,50	17775,23	17136,01	13880,52	20553,40	54197,74	40590,55	53512,04
Antimonio	mg/Kg	0,39	0,18	0,18	0,16	0,19	0,27	0,24	0,22
Arsénico	mg/Kg	0,21	0,22	0,43	0,43	1,58	2,85	2,48	2,71
Bario	mg/Kg	30,73	55,62	38,21	37,67	74,64	259,14	93,16	141,53
Berilio	mg/Kg	0,13	0,17	0,19	0,23	0,27	0,71	0,38	0,43
Boro	mg/Kg	229,17	179,61	152,13	198,79	13,35	14,72	13,44	14,04
Cadmio	mg/Kg	0,06	0,07	0,09	0,06	0,18	0,20	0,26	0,17
Cinc	mg/Kg	49,53	38,63	57,09	41,2	91,62	92,77	172,30	154,29
Cobalto	mg/Kg	6,99	6,96	6,55	12,38	12,58	21,31	13,57	14,81
Cobre	mg/Kg	54,10	37,21	100,79	61,93	255,20	114,41	265,48	231,93
Cromo	mg/Kg	28,20	5,87	34,43	13,36	99,06	28,96	31,76	26,97
Hierro	mg/Kg	27334,80	25908,55	27529,09	46268,38	36961,12	50135,78	47337,33	37984,09
Manganeso	mg/Kg	1098,41	663,57	664,02	543,18	812,51	1338,26	1346,06	901,88
Molibdeno	mg/Kg	2,06	0,69	1,79	1,41	11,03	2,48	10,57	8,89
Níquel	mg/Kg	3,62	1,81	5,84	3,75	15,49	12,27	7,64	7,82
Plata	mg/Kg	0,26	0,41	0,08	0,05	0,21	0,28	0,30	0,28
Plomo	mg/Kg	3,16	2,70	3,84	2,39	8,18	7,62	19,39	12,83
Selenio	mg/Kg	22,46	20,39	19,67	17,52	20,12	26,78	20,56	20,17
Vanadio	mg/Kg	211,83	170,98	164,91	311,95	147,45	179,28	156,25	159,02
Mercurio	mg/Kg	<0,01(0,00	<0,01(0,00	<0,01(0,00	<0,01(0,00	<0,01(0,00	<0,01(0,00	<0,01(0,00	<0,01(0,00

NOTA. Se indica con un sombreado el grado de cumplimiento con la norma canadiense de referencia para contaminación de sedimentos. Verde: cumple; Crema: incumple límites efectos bajos; ROJO: incumple límites efectos altos.

Para valorar el grado de contaminación de los sedimentos se ha empleado el protocolo del Consejo Canadiense de los Ministerios del Ambiente (CCME, 1995).

El protocolo canadiense contempla dos niveles de referencia (ver **Cuadro 9**): el límite de efectos bajos (LEB) y el límite de efectos altos (LEA), tanto para sedimentos de agua dulce como para sedimentos de agua marina.

En los dos casos, el primero expresa la concentración por debajo de la cual la probabilidad de toxicidad es menor del 20% y el segundo define el nivel por encima del cual la probabilidad de toxicidad es mayor del 50%.

CUADRO 9. PROTOCOLO DEL CONSEJO CANADIENSE DE LOS MINISTERIOS DEL AMBIENTE (CCME). SEDIMENTOS DE AGUA DULCE

ELEMENTO	LÍMITES EFECTOS BAJOS (LEB)	LÍMITE EFECTOS ALTOS (LEA)
	mg/kg de suelo	
Arsénico	5,90	17
Cadmio	0,60	3,50
Cromo	37,3	90
Cobre	35,7	197
Plomo	35	91,3
Mercurio	0,17	0,486
Zinc	123	315

Teniendo en cuenta esta referencia, el cinc solo incumpliría para límites bajos en el río Petaquilla. Para el cobre se incumpliría para límites bajos (LEB) en todos los puntos, excepto en PMC-Botija, PMC-Petaquilla y PML-Petaquilla que también se incumpliría en límites efectos altos (LEA).

Para todos los sitios de muestreo, el resto de metales en sedimentos cumple con el límite de efectos bajos (LEB).

4.1.4. Metales pesados en biota (peces y camarones)

Por su parte, en los **Cuadros 10** y **11** y **Anexo 3** se recogen los análisis de metales pesados totales en peces y camarones referidos a materia seca (s.m.s.).

CUADRO 10. RESULTADOS DE METALES PESADOS TOTALES EN PECES (mg/Kg m.s.m.)

METALES PESADOS EN PECES	UNIDADES	CODIGO SITIOS DE MUESTREO Y RIOS ESTUDIADOS						
		REF-Hoja	REF-Rinconcito	PML-Caimito	PMC-Botija	PML-Botija	PMC-Petaquilla	PML-Petaquilla
		Hoja	Rinconcito	Del Medio	Botija	San Juan	Petaquilla	Petaquilla
Aluminio	mg/Kg	3744,44	105,90	2,23	47,89	36,10	49,22	254,33
Arsenico	mg/Kg	2,65	0,65	1,07	0,74	0,86	0,57	0,95
Bario	mg/Kg	19,02	19,98	1,02	4,30	10,47	9,54	13,59
Berilio	mg/Kg	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Cadmio	mg/Kg	0,86	1,89	0,05	0,93	1,76	0,45	0,84
Cinc	mg/Kg	55,66	62,51	3,73	51,84	59,64	66,61	50,43
Cobalto	mg/Kg	0,22	0,21	0,02	0,13	0,16	0,16	0,23
Cobre	mg/Kg	3,49	3,13	0,18	2,29	2,57	2,02	2,50
Cromo	mg/Kg	2,18	0,69	0,06	0,94	0,84	0,66	0,60
Hierro	mg/Kg	111,11	113,89	4,58	59,04	52,39	51,84	47,04
Manganeso	mg/Kg	11,29	21,76	0,89	8,65	15,42	19,23	37,87
Molibdeno	mg/Kg	0,65	0,26	0,02	0,20	0,11	0,82	0,14
Niquel	mg/Kg	0,96	0,91	0,07	0,63	0,97	0,76	0,90
Plomo	mg/Kg	0,28	0,13	0,02	0,13	0,11	0,23	0,13
Selenio	mg/Kg	2,66	1,41	0,19	1,94	2,40	3,10	3,00
Vanadio	mg/Kg	0,80	0,51	0,02	0,45	0,29	0,19	0,18
Mercurio	mg/Kg	<0,01(0,00)	<0,01(0,00)	<0,01(0,00)	<0,01(0,00)	<0,01(0,00)	<0,01(0,00)	<0,01(0,00)

NOTA. En el sitio PMC-Caimito no se pudieron tomar muestras de peces debido a la elevada turbidez y caudal.

Las concentraciones de metales pesados en tejidos de peces han sido relativamente bajas en todos los sitios de muestreo. En comparación con el resto, la estación de referencia REF-Rinconcito ha presentado mayores concentraciones en cobre y cinc, comparable a la estación REF-Hoja. Al no existir valores de referencia legales, no se puede establecer un nivel de calidad objetivo para este parámetro.

CUADRO 11. RESULTADOS DE METALES PESADOS TOTALES EN CAMARONES (mg/Kg m.s.m.)								
METALES PESADOS EN CAMARONES	UNIDADES	CODIGO SITIOS DE MUESTREO Y RIOS ESTUDIADOS						
		REF-Hoja	REF-Rinconcito	PML-Caimito	PMC-Botija	PML-Botija	PMC-Petaquilla	PML-Petaquilla
		Hoja	Rinconcito	Del Medio	Botija	San Juan	Petaquilla	Petaquilla
Aluminio	mg/Kg	2812,22	378,11	537,78	316,44	181,04	915,67	1064,78
Arsenico	mg/Kg	1,87	1,91	3,68	0,72	0,89	1,83	0,68
Bario	mg/Kg	210,56	424,00	488,33	78,32	106,56	258,22	288,59
Berilio	mg/Kg	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Cadmio	mg/Kg	1,70	0,37	0,99	1,09	0,30	1,07	0,89
Cinc	mg/Kg	144,00	73,40	89,11	97,37	87,82	286,89	68,50
Cobalto	mg/Kg	1,28	0,77	1,17	0,86	0,42	1,18	0,68
Cobre	mg/Kg	281,11	103,37	256,56	273,44	67,23	227,00	171,41
Cromo	mg/Kg	1,51	0,42	1,10	0,83	0,61	1,17	0,92
Hierro	mg/Kg	2067,78	465,67	603,44	2887,11	138,96	837,00	388,59
Manganeso	mg/Kg	522,11	136,00	198,44	207,22	89,63	295,56	464,67
Molibdeno	mg/Kg	0,71	0,83	0,46	0,27	0,06	0,38	0,20
Niquel	mg/Kg	2,05	1,20	1,95	1,10	0,76	1,56	1,33
Plomo	mg/Kg	0,57	1,00	0,26	0,26	0,30	0,56	0,49
Selenio	mg/Kg	2,06	1,54	1,95	1,43	1,66	2,94	2,42
Vanadio	mg/Kg	4,34	0,98	2,04	0,90	0,44	2,38	1,03
Mercurio	mg/Kg	0,03	0,02	0,02	<0,01(0,00)	<0,01(0,00)	<0,01(0,00)	<0,01(0,00)

NOTA. En el sitio PMC-Caimito no se pudieron tomar muestras de camarones debido a la elevada turbidez y caudal.

Al igual que sucedió en otros muestreos (Ecometrix, 2012), las concentraciones de metales en camarones fueron notablemente mayores que las que se encontraron en los tejidos de los peces para ciertos metales. Se observa una gran variabilidad en los resultados, con concentraciones más bajas en la estación de referencia REF-Rinconcito en comparación con el resto.

Al igual que sucede con los peces, al no existir valores de referencia legales, no se puede establecer un nivel de calidad objetivo para este parámetro. De todas formas, en el capitulo de estudio de tendencias se analiza la evolución de estos parámetros (tanto metales pesados en peces como en camarones) en los diferentes monitoreos realizados en el tiempo.

4.2. Elementos biológicos

4.2.1. Macroinvertebrados

Para el estudio de macroinvertebrados se prospectaron siete de las ocho estaciones inicialmente programadas, ya que el río Del Medio (PMC-Caimito) no se pudo muestrear debido al elevado caudal y turbiedad del agua. El arrastre de las comunidades de invertebrados que implican estas crecidas frustra la obtención de datos representativos de la localidad afectada.

En el **Cuadro 12** se muestra la relación de los taxones identificados y su densidad (indv/m^2) en los diferentes sitios que conforman la red de muestreo.

CUADRO 12. LISTADO Y DENSIDAD (ind/m^2) DE MACROINVERTEBRADOS

FAMILIAS	REF-Hoja	REF-Rinconcito	PML-Caimito	PMC-Botija	PML-Botija	PMC-Petaquilla	PML-Petaquilla
	Hoja	Rinconcito	Caimito	Botija	San Juan	Petaquilla	Petaquilla
Atyidae	16	10	1	3	3	5	0
Baetidae	4	6	4	9	6	2	3
Belostomatidae	0	0	1	0	0	3	1
Calopterygidae	0	0	0	1	0	0	0
Ceratopogonidae	2	2	1	1	1	2	5
Chironomidae	0	6	3	1	1	9	20
Coenagrionidae	0	2	0	2	3	1	0
Corydalidae	1	1	2	1	1	1	0
Crambidae	0	0	3	0	0	0	0
Elmidae	3	15	54	2	34	48	4
Glossosomatidae	0	0	2	0	0	0	0
Gomphidae	0	0	1	1	0	2	2
Guerridae	0	0	6	0	0	0	0
Hydrobiidae	0	0	0	0	0	0	3
Hydropsychidae	2	15	17	22	4	39	3
Leptoceridae	0	0	8	3	0	0	0
Leptohyphidae	3	2	15	20	3	0	2
Leptophlebiidae	28	35	30	4	15	3	2
Libellulidae	0	1	0	1	0	0	1
Lymnaeidae	0	0	0	12	0	0	0
Megapodagrionidae	0	2	0	0	0	1	0
Neritidae	2	1	1	0	0	0	0

CUADRO 12. LISTADO Y DENSIDAD (ind/m^2) DE MACROINVERTEBRADOS							
FAMILIAS	**REF-Hoja**	**REF-Rinconcito**	**PML-Caimito**	**PMC-Botija**	**PML-Botija**	**PMC-Petaquilla**	**PML-Petaquilla**
	Hoja	**Rinconcito**	**Caimito**	**Botija**	**San Juan**	**Petaquilla**	**Petaquilla**
Palaemonidae	3	4	116	2	3	0	0
Perlidae	1	17	0	0	5	0	0
Philopotamidae	9	67	49	26	10	24	2
Planariidae	0	0	0	0	1	0	0
Platystictidae	0	6	0	0	1	2	0
Polythoridae	0	2	0	0	0	0	0
Psephenidae	1	7	3	0	4	2	1
Ptilodactylidae	0	16	0	0	0	2	3
Simuliidae	0	1	0	2	2	12	3
Thiaridae	79	1	5	57	16	0	0
Tipulidae	0	7	1	0	1	0	0
Veliidae	0	3	3	0	0	0	0
TOTAL INDIVIDUOS/m^2	**154**	**229**	**326**	**170**	**114**	**158**	**55**
Nº FAMILIAS	**14**	**24**	**22**	**19**	**19**	**17**	**15**

En total se han encontrado 34 taxones que pertenecen a otras tantas familias, destacando por su representatividad y abundancia los taxones *Emildae, Leptophlebiidae, Palaemonidae* (especialmente en la estación PML-Caimito) y *Thiaridae*. El grupo de los *Chironomidae* está bien representado aunque con densidades moderadas a bajas.

Las estaciones con densidades más bajas de macroinvertebrados han sido la de los ríos Petaquilla (PML-Petaquilla situada más abajo que la estación empleada en anteriores monitoreos) y el sitio de referencia en río Hoja. Las dos estaciones presentan escasa diversidad de hábitats, con predominio de sedimentos finos y gravas, que albergan pocos refugios. Por su parte, las mayores densidades y taxones se han registrado en los ríos Caimito (río con elevada diversidad de hábitats) y Rinconcito, seleccionado éste último de referencia.

En el **Gráfico 1** se ha representado el dendograma de similitud de sitios de muestreo sobre la base del índice Bray-Curtis, para dar una idea de las diferentes comunidades del macrobentos en función de los taxones encontrados.

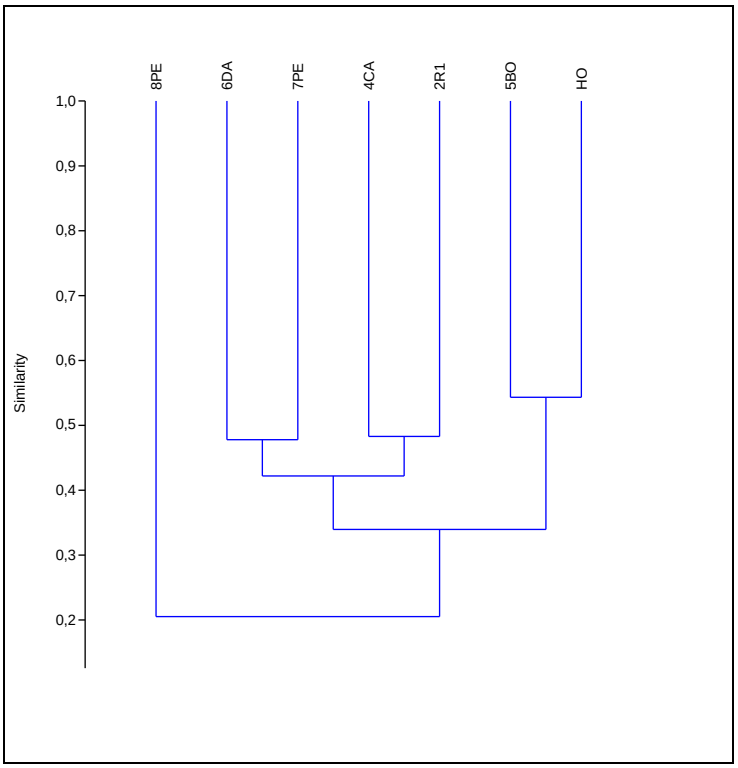


Gráfico 1. Dendograma de similitud entre sitios de muestreo

A un nivel de corte del 50% se distinguen una amplia comunidad, con similitud de taxones comunes en los diferentes sitios de muestreo, que puede ser el representativo de los ecotipos presentes en las subcuencas drenadas. Por su parte, el río Petaquilla aparece diferenciado del resto, con una comunidad distinta y adaptada a los hábitats descritos.

El río Petaquilla (foto izquierda) presenta una escasa diversidad de hábitat que alberga una comunidad de macrobentos menor diversidad. Por su parte, el río Petaquilla se caracteriza por una elevada diversidad y comunidad de macroinvertebrados más compleja y diversa.

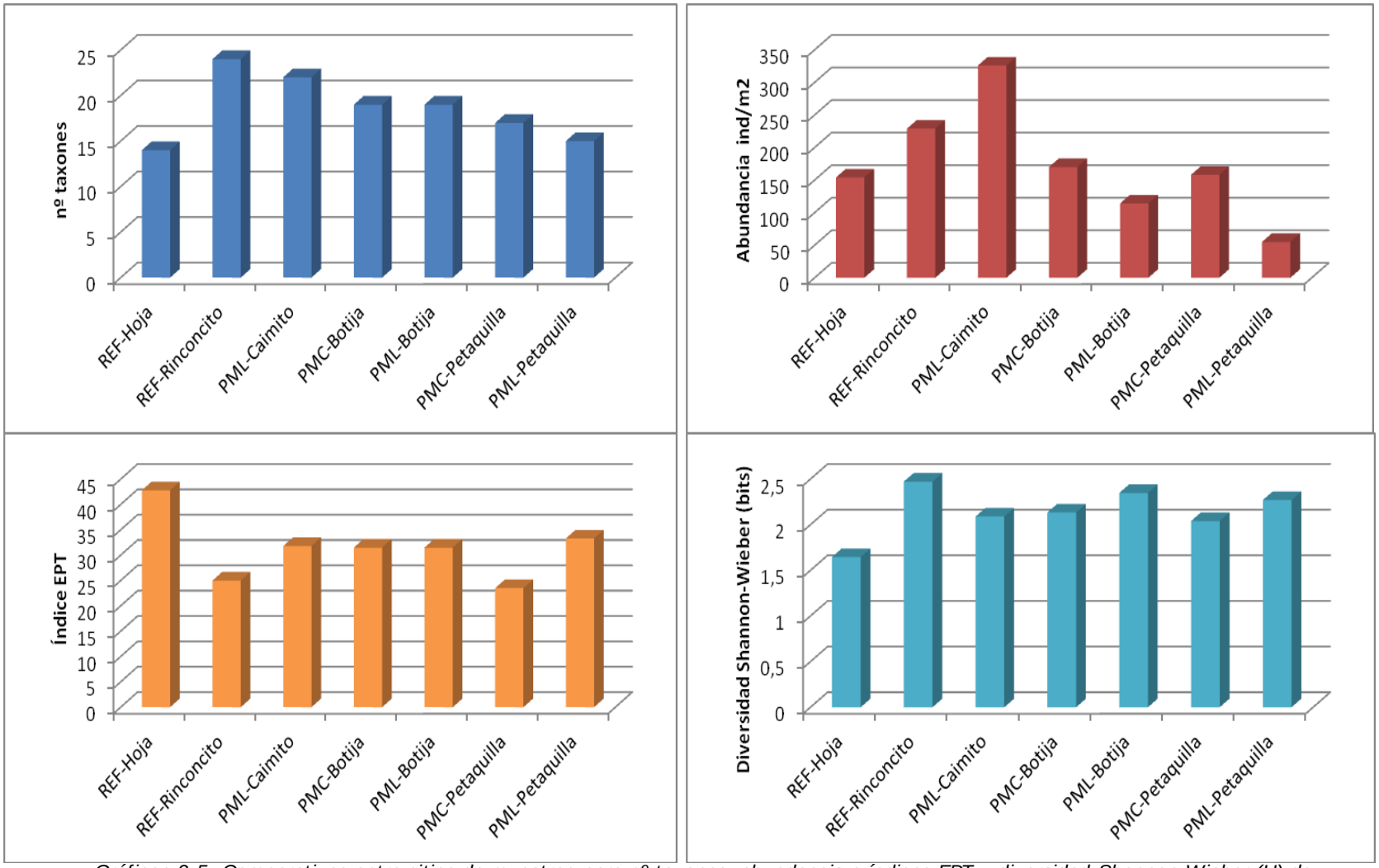
En el **Cuadro 13** se recogen los diferentes índices de diversidad y equitabilidad. Destacan los altos valores en los ríos Rinconcito y San Juan y moderados a altos en el resto de estaciones.

CUADRO 13. INDICES BASADOS EN LOS MACROINVERTEBRADOS

ÍNDICES	REF-Hoja	REF-Rinconcito	PML-Caimito	PMC-Botija	PML-Botija	PMC-Petaquilla	PML-Petaquilla
	Hoja	Rinconcito	Caimito	Botija	San Juan	Petaquilla	Petaquilla
Nº taxones (familias)	14	24	22	19	19	17	15
Abundancia (ind/m^2)	154	229	326	170	114	158	55
EPT	42,8	25,0	31,8	31,5	31,5	23,5	33,3
Dominancia (D)	0,3129	0,1347	0,1917	0,1761	0,1444	0,1881	0,1669
Simpson (1-D)	0,6871	0,8653	0,8083	0,8239	0,8556	0,8119	0,8331
Div. Shannon-Weaber (H)	1,646	2,472	2,09	2,134	2,347	2,04	2,27
Riqueza (e^H/S)	0,3704	0,4936	0,3674	0,4445	0,5503	0,4525	0,6456
Div. Brillouin	1,518	2,309	1,985	1,975	2,117	1,886	1,933
Div. Menhinick	1,128	1,586	1,218	1,457	1,78	1,352	2,023
Div. Margalef	2,581	4,233	3,629	3,505	3,801	3,16	3,494
Equitabilidad (J)	0,6237	0,7779	0,6761	0,7247	0,7971	0,7201	0,8384
Fisher (alpha)	3,742	6,756	5,326	5,482	6,511	4,833	6,794
Berger-Parker	0,513	0,2926	0,3558	0,3353	0,2982	0,3038	0,3636
Chao-1	14,75	25,67	27	22	26,5	17,43	15,6

Por tanto, las comunidades de macroinvertebrados presentan una buena estructura ecológica, con moderada a alta diversidad de especies, indicadora de biocenosis complejas y no alteradas de forma significativa.

Las bajas densidades encontradas en el río Petaquilla en la estación lejana (PML-Petaquilla) están más asociadas con el tipo de sustrato, muy pobre y con pocas condiciones de habitabilidad para el macrobentos, que con alteraciones de la calidad del agua u otro tipo de impacto ambiental. Relacionado con este hecho, se destaca que en este sitio el nº de taxones es muy similar al sitio de referencia (REF-Hoja), presentando la tercera mayor diversidad de especies (índice Shannon-Weaber, H) de todos los sitios muestreados. Por consiguiente, el establecimiento de condiciones de calidad de un medio sobre la base de cambios estructurales en las comunidades biológicas (a través de densidades o índices de diversidad) puede llevar a errores si no se tienen en cuenta todos los factores ambientales implicados. Una alternativa a esta valoración, es la basada no soólo en los aspectos estructurales, sino en la capacidad bioindicadora y sensibilidad de las especies biológicas a la contaminación en sus diferentes formas, mediante el establecimiento de índices de calidad. En el último capítulo se aborda este análisis y los resultados que aporta el índice de calidad de macroinvertebrados desarrollado en Panamá (índice BMWP/PAN).



Gráficos 2-5. Comparativas entre sitios de muestreo para nº taxones, abundancia e índices EPT y diversidad Shannon-Wieber (H) de macroinvertebrados

PRINCIPALES TAXONES DE MACROINVERTEBRADOS

PLECOPTERA: Perlidae	*TRICHOPTERA: Philopotamidae*
EPHEMEROPTERA: Baetidae	*COLEOPTERA: Psephenidae*
TRICHOPTERA: Leptoceridae	*DIPTERA: Simuliidae*
HEMIPTERA: Belostomatidae	*ODONATA: Libellulidae*

4.2.2. Perifiton

En el **Anexo 4** se incluyen los Informes de Ensayo con los resultados de los análisis de perifiton. Se han identificado un total de 64 especies con requerimientos ecológicos principalmente asociados con la alcalinidad, pH y una amplia gama de contenido de nutrientes del agua. Destacan por su abundancia en la mayoría de las estaciones las siguientes especies: *Diatoma vulgaris, Fragilaria recapitellata, Geissleria similis, Gomphonema olivaceum, Gomphonema parvulum, Navicula lanceolata y Rhoicosphenia abbreviata.*

En el **Cuadro 14** se recogen los diferentes índices de diversidad y equitabilidad, así como número de taxones y válvas de diatomeas.

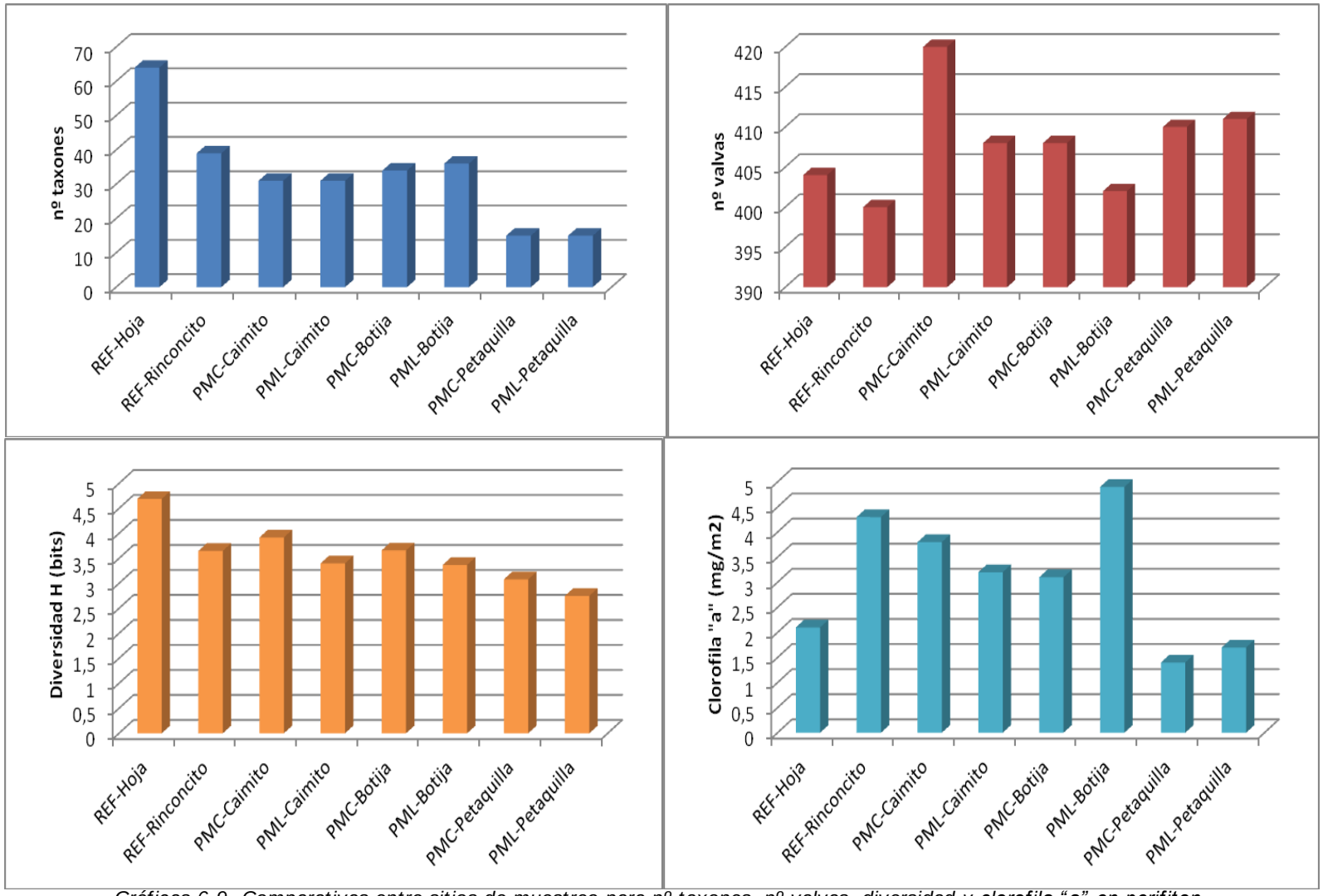
CUADRO 14. INDICES BASADOS EN EL PERIFITON

ÍNDICES	REF-Hoja	REF-Rinconcito	PMC-Caimito	PML-Caimito	PMC-Botija	PML-Botija	PMC-Petaquilla	PML-Petaquilla
	Hoja	Rinconcito	Del Medio	Caimito	Botija	San Juan	Petaquilla	Petaquilla
Nº Taxones	64	39	31	31	34	36	15	15
Nº valval	404	400	420	408	408	402	410	411
Diversidad S-W	4,69	3,65	3,92	3,40	3,66	3,37	3,08	2,75
Equitatividad	0,78	0,69	0,68	0,69	0,72	0,65	0,79	0,70
IPS	12,6	14,2	14,2	14,4	17	17	18,4	18,8
Clorofila "*a*" (mg/m^2)	2,1	4,3	3,8	3,2	3,1	4,9	1,4	1,7

Destacan los altos valores en los ríos Hoja y Rinconcito y moderados en el resto de estaciones. Por su parte, el río Petaquilla presenta bajos valores de estos índices y, por el contrario, los valores más elevados del IPS debido a que en la comunidad de diatomeas dominan especies muy sensibles, lo que hace aumentar el valor de este índice.

Como es natural, no parece haber una relación clara entre el contenido en Clorofila "a" y la densidad, debido al diferente contenido de este pigmento en las células analizadas y variable en función de cada especie. Se han registrado los mayores valores en los sitios REF-Rinconcito y PML-Botija, con valores propios de aguas con media productividad algal. El río Petaquilla prsenta los valores más bajos de biomasa, propio de un río oligotrófico y con sustratos poco apropiados para la implantación de diatomeas.

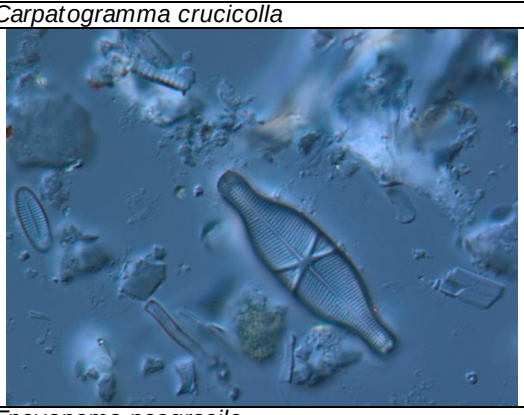
En los gráficos ajuntos se comparan el nº taxones, nº valvas, diversidad y clorofila "a" en los sitios muestreados. Destacan el mayor nº de taxones y diversidad encontrados en REF-Hoja, aunque con bajos contenidos en clorofila "a", tanto en este sitio como en los dos tramos muestreados en el río Petaquilla. Por su parte, el río Del Medio presenta el mayor nº de valvas, aunque con diferencias poco significativas entre tramos.



Gráficas 6-9. Comparativas entre sitios de muestreo para nº taxones, nº valvas, diversidad y clorofila "a" en perifiton.

PRINCIPALES TAXONES DEL PERIFITON

Carpatogramma crucicolla

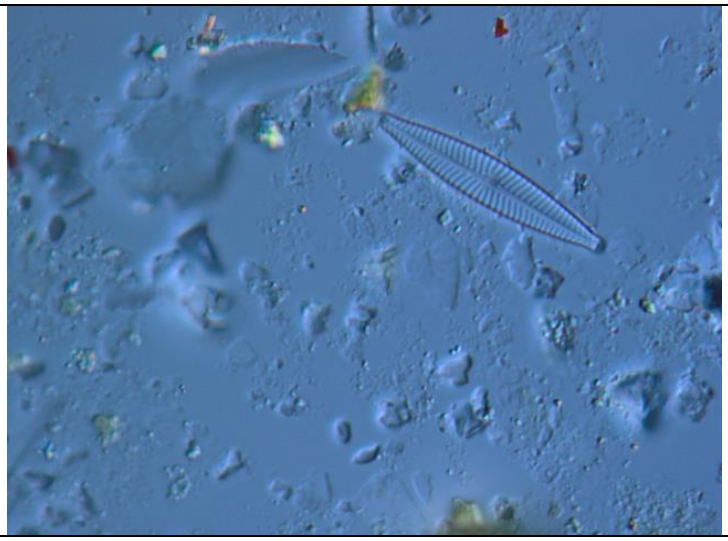


Cymbella tumida

Encyonema neogracile

Fragilaria groulardi

Navicula notha



4.2.3. Peces

En el **Cuadro 15** se recogen los resultados de los muestreos de peces y en el **Anexo 5** un reportaje fotográfico de las especies capturadas. Al igual que con los macroinvertebrados, solo se pudo muestrear en siete de los ocho sitios seleccionados, ya que debido al elevado caudal y turbiedad del río Del Medio no se pudo realizar los muestreos con pesca eléctrica o artes de apoyo en el sitio PMC-Caimito.

CUADRO 15. RESULTADOS DE LOS MUESTREOS DE PECES

NOMBRE CIENTÍFICO	NOMBRE COMÚN	CODIGO SITIOS DE MUESTREO Y RIOS ESTUDIADOS						
		REF-Hoja	REF-Rinconcito	PML-Caimito	PMC-Botija	PML-Botija	PMC-Petaquilla	PML-Petaquilla
		Hoja	Rinconcito	Caimito	Botija	San Juan	Petaquilla	Petaquilla
Anguilla rostrata (Lesueur, 1817)	Anguila	1		1			1	1
Brycon petrosus (Meek & Hildebrand, 1913)	Sardina		14		1	7		
Brycon chagrensis (Kner, 1863)	Sardina					3		
Astyanax aeneus (Günther, 1860)	Sardina		1			8	1	3
Hyphessobrycon panamensis (Durbin, 1908)	Sardina		1				5	
Bryconamericus emperador (Eigenmann&Ogle, 1907)	Sardina		7					
Roeboides loftini (Lucena, 2011)	Sardina				1			
Hoplias microlepis (Günther, 1864)	Peje perro					1		
Andinoacaracoeruleo punctatus (Kner, 1863)	Chogorro		6			15	1	8
Sicydium altum (Meek, 1907)	Titi	1	4	14	41	15		4
Awaous banana (Valenciennes, 1837)	Arenero			4		2		1
Eleotri spisonis (Gmelin, 1788)	Guabina	10	7	16				
Gobiomorus dormitor (Lacepède,1800)	Guabina	7	4	19	5	2	2	2
Rhamdia laticauda (Kner, 1858)	Barbú		1			3	2	
Rhamdia quelen (Quoy&Gaimard, 1824)	Barbú	1						2
Pomadasys crocro (Cuvier, 1830)	Ronco	1				1		
Centropomus undecimalis (Bloch, 1792)	Róbalo			3				

CUADRO 15. RESULTADOS DE LOS MUESTREOS DE PECES								
NOMBRE CIENTÍFICO	**NOMBRE COMÚN**	**CODIGO SITIOS DE MUESTREO Y RIOS ESTUDIADOS**						
		REF-Hoja	**REF-Rinconcito**	**PML-Caimito**	**PMC-Botija**	**PML-Botija**	**PMC-Petaquilla**	**PML-Petaquilla**
		Hoja	**Rinconcito**	**Caimito**	**Botija**	**San Juan**	**Petaquilla**	**Petaquilla**
Centropomus armatus (Gill,1863)	Róbalo			1				
Agonostomus monticola (Bancroft, 1834)	Lisa de río	7	9	15	29	12	1	
Joturus pichardi Poey,1860	Boca chica	2	4	4	2	4		
Mugil cephalus (Linnaeus,1758)	Lisa			2				
Arcos nudus (Linnaeus, 1758)	Pez sapo			3				
Brachyrhaphis cascajalensis (Meek&Hildebrand, 1913)	Chompipe							3
Poecilia mexicana (Kner, 1863)	Chompipe					2		
Poecilia gillii (Kner, 1863)	Chompipe				3			1
Poeciliopsis retropinna (Regan, 1908)	Chompipe					11		
Priapichthysannectens (Regan, 1907)	Chompipe		2					1
Trichomycterus striatus (Meek&Hildebrand, 1913)	Barbú				1	4	9	3
Fonchiiichthys uracanthus (Kner, 1863)	Chupapiedra					1		
Brachyhypopomus occidentalis (Regan, 1914)	Pez cuchillo		1					
Synbranchus marmoratus (Bloch, 1795)	Anguila		1			1		
TOTAL DE PECES CAPTURADOS		**30**	**62**	**82**	**83**	**92**	**22**	**29**
TOTAL DE TAXONES		**8**	**14**	**11**	**8**	**18**	**8**	**11**
CAPTURAS POR UNIDAD DE ESFUERZO (ind/min)		**0,8**	**1,6**	**2,1**	**2,1**	**2,3**	**0,6**	**0,8**
BIOMASA TOTAL (gr)		**843,6**	**345,8**	**1416,3**	**278,9**	**1065,7**	**389,1**	**272,6**
INDICE DE DIVERSIDAD SHANNON-WEABER (H)		**2,42**	**3,33**	**2,89**	**1,80**	**3,55**	**2,45**	**3,12**

Se colectaron un total de 400 peces representados con nueve órdenes, 17 familias, 27 géneros y 30 taxones a nivel de especie.

En cuanto a la abundancia, las especies con mayor número de individuos fueron *Sicydium altum* (79 individuos), seguido de *Agonostomus monticola* (73 individuos), *Gobiomorus dormitor* (41 individuos) y *Andinoacaracoeruleo punctatus* (30 individuos). Estas especies representaron el 56% del total de las capturas.

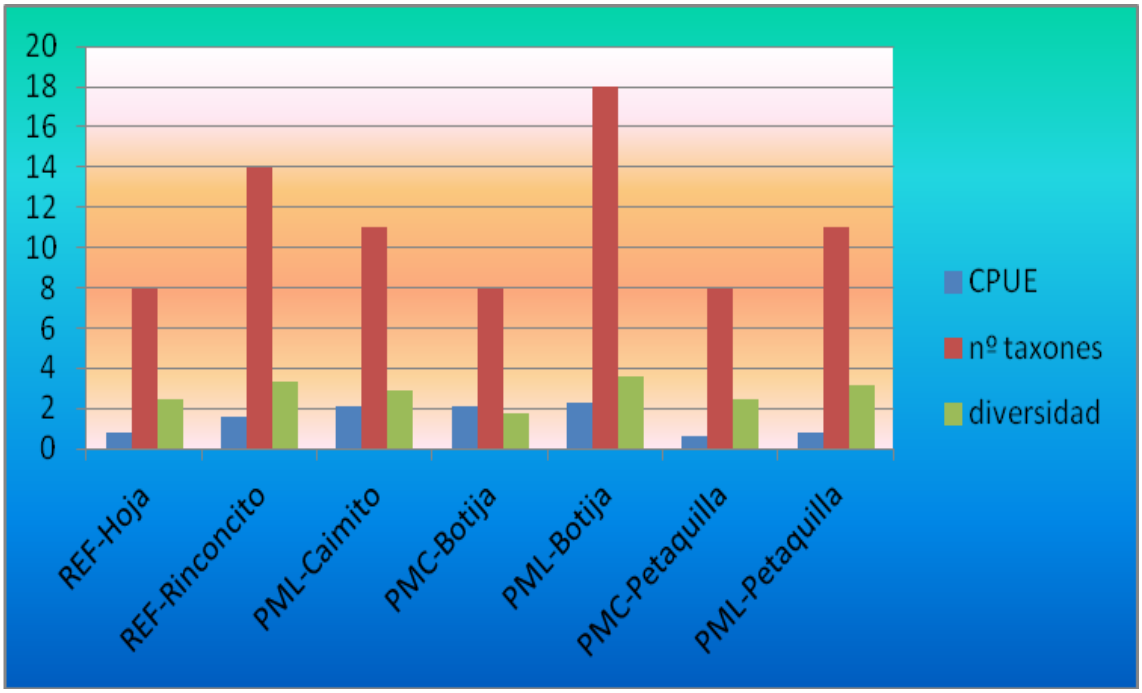


Grafico 10. Comparativas entre sitios de muestreo para nº taxones, CPUE y diversidad en peces.

Adicional a esto, *Gobiomorus dormitor* presentó la mayor distribución, capturándose en las siete estaciones de muestreo, seguido de *Agonostomus montícola* y *Sicydium altum* en con seis estaciones respectivamente.

En base a los resultados obtenidos cabe resaltar la presencia de las cuatro especies consideradas de interés en la línea base (EIA, 2010); siendo estas *Bryconchagrensis* (sábalo pipón), *Gobiomorus dormitor* (guabina), *Agonostomus montícola* (lisa de rio) y *Sicydium altum*. Otro aspecto a tomar en cuenta fue la presencia de las especies centinelas (*Gobiomorus dormitor y Sicydium altum*) en estado de gravidez.

Al comparar los resultados obtenidos por estaciones, PML-Botija registró la mayor diversidad y abundancia de peces con un total de 18 especies (92 individuos y biomasa de 1065.7 g), seguido de REF-Rinconcito con 14 especies (62 individuos y biomasa de 345.8 g), PML-Petaquilla con 8 especies (29 individuos y biomasa de 272.6 g), PMC-Botija ocho especies (83 individuos y biomasa de 278.9 g), PML-Petaquilla ocho especies (22 individuos y biomasa de 389.1 g), REF-Hoja ocho especies (30 individuos y biomasa de 843.6 g) y PML-Caimito 11 especies (82 individuos y biomasa de 1416.3 g).

Los peces fueron más abundantes en el sitio de muestreo cercano del río Botija en PMC-Botija donde las Capturas Por Unidad de esfuerzo (CPUE) fue de 2.3 peces/min. Para los sitios de muestreo cercano del río Caimito y el Botija fue de 2.1 peces/min respectivamente; seguidos por el rio Rinconcito (2RI) con 1.6 peces/min. La abundancia menor de peces ocurrió en el área de referencia del río Hoja, rio Petaquilla siendo el esfuerzo de pesca de 0.6, 0.7 y 0.8 peces/min.

El CPUE fue menor del río Hoja debido a la alta turbidez que ocurrió al momento del muestreo, y para el caso del río Petaquilla fue debido a los flujos mayores de las corrientes y áreas de mayor profundidad en la orilla izquierda que restringieron el esfuerzo de pesca al margen derecho del río. Las comunidades más diversas de peces se registraron en los sitios de muestreo cercano del PML-Botija y rio Rinconcito, donde se capturaron 17 y 14 especies de peces, respectivamente. Los sitios de muestreo que presentaron menores taxones de peces fueron rio Hojas, rio Petaquilla (PMC-Petaquilla) y río San Juan (PML-Botija) con ocho especies respectivamente.

Las especies registradas en el área de estudio forman parte de la fauna característica de los ríos y quebradas de la zona, donde por factores como la altitud y la temperatura y siguiendo el patrón normal de distribución de las especies, a medida que se sube por el río se espera encontrar una baja diversidad de estas. De igual manera el registro de las especies va a depender en algunas ocasiones, de las técnicas de muestreos utilizadas, ya que algunas son más eficientes que las otras y se pueden registrar una mayor variabilidad de especies.

En el estudio se han relacionado las tallas encontradas con las medidas registradas para los peces adultos por especie, con la finalidad de establecer el estadio en que se encuentra cada individuo y poder determinar la distribución de las poblaciones. Los resultados muestran que al comparar las tallas registradas por especies, la mayor parte de los individuos capturados se encuentran dentro del estadio de juveniles. En algunas especies como *Gobiomorus dormitor, Joturus pichardi, Agonostomus monticola, Rhamdia quelem, Rhamdia laticauda* entre otras se registró la presencia de adultos por la condición del habitat donde viven y su ciclo biologico.

Se procedió a la captura de una cantidad suficiente de titíes adultos machos y hembras (sobre 15-20 individuos) para completar una evaluación estadística de métricas de salud relativas al crecimiento, el almacenamiento de energía y la reproducción.

Los puntos terminales de los efectos principales que se utilizan para determinar los efectos relacionados con la minería son la edad, condición (o sea, el peso en cualquier longitud), el peso del hígado (ajustado según el peso corporal) y el peso gonadal (ajustado según el peso corporal). Este último es tal vez la métrica más importante, ya que los cambios negativos en la inversión reproductiva de los peces pueden resultar en efectos a nivel de la comunidad. También hay una cantidad de métricas de apoyo que puede compararse, tales como la fecundidad (o sea, la cantidad de huevos por hembra) y el peso individual de los huevos.

En el **Cuadro 16** se resumen Las diferentes variables analizadas:

CUADRO 16. RESULTADOS DE LOS MUESTREOS DE PECES

PARÁMETRO	TIPO OBSERVACION	CODIGO SITIOS DE MUESTREO Y RIOS ESTUDIADOS							
		REF-Hoja	REF-Rinconcito	PML-Caimito	PMC-Botija	PML-Botija	PMC-Petaquilla	PML-Petaquilla	REF-Hoja
		Hoja	Rinconcito	Del Medio	Caimito	Botija	San Juan	Petaquilla	Petaquilla
Peso gonadal (gr)	Métrica en titíes hembra	<0,05	<0,05	(1)	(1)	(1)	0,051	(1)	(1)
Tamaño hígado	Métricas en todos sexos	(1)	(1)	(1)	(1)	(1)	(1)	(1)	(1)
Estructura ósea	Métricas en todos sexos	(1)	(1)	(1)	(1)	(1)	(1)	(1)	(1)
Estado salud	Métricas en todos sexos	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO

NOTAS: (1) no se recolectaron peces con estados gonadales maduros, o estructuras ósea e hígados difusos. NO. No presentan anomalías.

Las especies centinelas fueron bastante pequeñas y con hígados difusos, por lo que no pudieron determinarse los pesos exactos. Igualmente, la recolección de las estructuras óseas no fue viable para determinar la edad debido a que las temporadas de crecimiento no eran precisas.

Había una gran abundancia de titíes en el río Petaquilla, pero parecía que las hembras no estaban en la misma etapa de madurez como en las demás cuencas. No se sabe de cierto la razón por la que las hembras de este sistema no estaban al mismo nivel de madurez, aunque pudieron haber desovado más adelante en la temporada que las de otros ríos. Asimismo, en los ríos En medio y Caimito no se encontraba el proceso avanzado o ya había concluido.

En resumen, las observaciones del estado gonadal y de salud de los peces indican una gran diferencia en la madurez de las hembras entre cuencas e incluso entre ríos de la misma cuenca. En algunos ríos presentaban un buen estado (Hoja, Rinconcito y San Juan), pero en otros (Petaquilla, Caimito y Botija) todavía no se encontraba avanzado el proceso o ya se había producido de maduración gonadal, no siendo posible las comparaciones.

Por su parte, en el **Cuadro 17** se resumen los principales atributos ecológicos de las especies inventariadas, y que serán posteriormente utilizadas en el índice Ibi de calidad basado en la presencia de peces y su hábitat.

CUADRO 17. ATRIBUTOS ECOLÓGICOS DE LAS ESPECIES ICTICAS CAPTURADAS						
NOMBRE CIENTÍFICO	**NOMBRE COMÚN**	**CATEGORIA DE DIADROMÍA**	**CATEGORÍA TRÓFICA**	**ESPECIE EXOTICA**	**TIPO DE HABITAT**	**SENSIBLE A ALTERACIÓN**
Anguilla rostrata (Lesueur, 1817)	Anguila	Catádromo	Omnivoro	Nativo	Rios/quebradas	Alta
Brycon petrosus (Meek & Hildebrand, 1913)	Sardina	Potomódroma	Omnivoro	Nativo	Rios/quebradas	Media
Brycon chagrensis (Kner, 1863)	Sardina	Potomódroma	Omnivoro	Nativo	Rios/quebradas	Baja
Astyanax aeneus (Günther, 1860)	Sardina	Potomódroma	Omnivoro	Nativo	Rios/quebradas	Baja
Hyphessobrycon panamensis (Durbin, 1908)	Sardina	Potomódroma	Insectivoro	Nativo	Rios/quebradas	Baja
Bryconamericus emperador (Eigenmann & Ogle, 1907)	Sardina	Potomódroma	Omnivoro	Nativo	Rios/quebradas	Baja
Roeboides loftini (Lucena, 2011)	Sardina	Potomódroma	Omnivoro	Nativo	Rios/quebradas	Media
Hoplias microlepis (Günther, 1864)	Peje perro	Potomódroma	Carnivoro	Nativo	Rios/quebradas	Baja
Andinoacara coeruleopunctatus (Kner, 1863)	Chogorro	Potomódroma	Omnivoro	Nativo	Rios/quebradas	Baja
Sicydium altum (Meek, 1907)	Titi	Anfídromo	Herbivoro	Nativo	Rios/quebradas	Alta
Awaous banana (Valenciennes, 1837)	Arenero	Anfídromo/Catádromo	Omnivoro	Nativo	Rios/quebradas	Media
Eleotris pisonis (Gmelin, 1788)	Guabina	Catádromo	Carnivoro	Nativo	Rios/quebradas	Media
Gobiomorus dormitor (Lacepède, 1800)	Guabina	Catádromo	Carnivoro	Nativo	Rios/quebradas	Media
Rhamdia laticauda (Kner, 1858)	Barbú	Potomódroma	Insectivoro	Nativo	Rios/quebradas	Baja
Rhamdia quelen (Quoy & Gaimard, 1824)	Barbú	Potomódroma	Insectivoro	Nativo	Rios	Baja
Pomadasys crocro (Cuvier, 1830)	Ronco	Anfidromo	Carnivoro	Nativo	Rios	Media
Centropomus undecimalis (Bloch, 1792)	Róbalo	Anfidromo	Carnivoro	Nativo	Rios	Media
Centropomus armatus (Gill, 1863)	Róbalo	Anfidromo	Carnivoro	Nativo	Rios	Media
Agonostomus monticola (Bancroft, 1834)	Lisa de río	Anfídromo	Omnivoro	Nativo	Rios/quebradas	Alta
Joturus pichardi Poey, 1860	Boca chica	Anfídromo	Herbivoro	Nativo	Rios/quebradas	Alta
Mugil cephalus (Linnaeus, 1758)	Lisa	Anfídromo	Carnivoro	Nativo	Rios	Baja
Arcos nudus (Linnaeus, 1758)	Pez sapo	Potomódroma	Herbivoro	Nativo	Rios/quebradas	Baja
Brachyrhaphis cascajalensis (Meek & Hildebrand, 1913)	Chompipe	Potomódroma	Insectivoro	Nativo	Rios/quebradas	Baja
Poecilia mexicana (Kner, 1863)	Chompipe	Potomódroma	Insectivoro	Nativo	Suampos/arroyos/quebradas	Baja

CUADRO 17. ATRIBUTOS ECOLÓGICOS DE LAS ESPECIES ICTICAS CAPTURADAS						
NOMBRE CIENTÍFICO	**NOMBRE COMÚN**	**CATEGORIA DE DIADROMÍA**	**CATEGORÍA TRÓFICA**	**ESPECIE EXOTICA**	**TIPO DE HABITAT**	**SENSIBLE A ALTERACIÓN**
Poecilia gillii (Kner, 1863)	Chompipe	Potomódroma	Detritivoro	Nativo	Suampos/arroyos/quebradas	Baja
Poeciliopsis retropinna (Regan, 1908)	Chompipe	Potomódroma	Insectivoro	Nativo	Suampos/arroyos/quebradas	Baja
Priapichthys annectens (Regan, 1907)	Chompipe	Potomódroma	Insectivoro	Nativo	Rios/quebradas	Baja
Trichomycterus striatus (Meek & Hildebrand, 1913)	Barbú	Potomódroma	Insectivoro	Nativo	Arroyos/quebradas	Media
Fonchiiichthys uracanthus (Kner, 1863)	Chupapiedra	Potomódroma	Herbivoro	Nativo	Rios/quebradas	Media
Brachyhypopomus occidentalis (Regan, 1914)	Pez cuchillo	Potomódroma	Insectivoro	Nativo	Arroyos/quebradas	Media
Synbranchus marmoratus (Bloch, 1795)	Anguila	Potomódroma	Detritivoro	Nativo	Rios/quebradas	Media

4.2.4. Camarones

La fauna carcinológica de la costa Caribe de Panamá es muy variada y diversa, pero muy poco conocida. La mayoría de los estudios sobre este grupo son meramente marinos debido a su importancia económica. Los camarones del genero *Macrobarchium* están distribuidos en zonas tropicales y subtropicales con unas 100 especies y de éstas, 26 especies se encuentran en América[6;7]. Holthius (1980) señala que los camarones de este género alcanzan tallas de hasta unos 225 mm.

En el **Cuadro 18** se recogen los resultados del muestreo de camarones, con valores absolutos de individuos capturados por especie.

CUADRO 18. RESULTADOS DE LOS MUESTREOS DE CAMARONES

ESPECIES	SITIOS DE MUESTREO							TOTAL INDIVIDUOS
	REF-Hoja	REF-Rinconcito	PML-Caimito	PMC-Botija	PML-Botija	PMC-Petaquilla	PML-Petaquilla	
Macrobrachium acanthurus	49	37	42	12	33	12	31	216
Macrobrachium crenulatum	63	26	55	41	20	24	19	248
Macrobrachium heterochirus	21	18	10	15	7	3	13	87
Macrobrachium americanum	4	7	3	14	4	1	1	34
Macrobrachium olfersii	18	11	21	7	16	12	10	95
Atya scabra	87	180	42	62	45	27	55	498
Potimirin glabra	73	57	61	40	37	42	31	341
TOTAL INDIVIDUOS	**315**	**336**	**234**	**191**	**162**	**121**	**160**	**1519**

Dentro de los camarones los átidos: *Atya scabra y Potimirin glabra* fueron los más abundantes en toda la colecta, caracterizándose por ser especies que se encuentran en los ríos con fondo rocoso, aguas correntosas y algunas veces con material vegetal. A diferencia de los Palemonidos que durante su etapa adulta son meramente dulceacuícola pero en las fases de larvas y juvenil se encuentran generalmente asociados a estuarios, influida por la salinidad del mar. *Atya scabra* resulto ser el más abundante con 498 individuos, seguido de *Potimirin glabra* con 341, luego el grupo de los Palemonidos *Macrobrachium crenulatum y M. acanthurus* con 248 y 216 individuos respectivamente.

Los sitios con mayor abundancia fueron el 2RI con 336 individuos y 1HO con 315 individuos.

El *Macrobrachium americanum* resulto la especie más grande con 180 mm de longitud, las otras especies de *Macrobrachium* como *acanthurus, olfersii, crenulatun y heterochirus* estuvieron por el rango de 60 a 100 mm de longitud.

[6] Holthuis, L. B. 1980. Species Catalogue. I. Shrimps and Pawns of the Wold. An annotated catalogue of species of interest to fisheries. FAO Fish. Synop. 125:126 p
[7] New, M. B. & S. Singholka. 1984 Cultivo de camarón de agua dulce. Manual para el cultivo de Macrobrachium rosenbergii. FAO. Doc. Tec. Pesca. 225: 118 p.

En cuanto a la biomasa de camarones (**Cuadro 19**), el mayor peso lo obtuvo *Atya scabra* con 308.06 g, seguido de *Macrobrachium acanthurus* con 103.41 g y *Macrobrachium crenulatum* con 82.09 g.

Sin embargo, la mayor biomasa estuvo representada por el sitio 2RI con 158.38 g, seguida del sitio HO con 121.06 g, los dos sitios elegidos de referencia.

CUADRO 19. RESULTADOS DE BIOMASA DE CAMARONES

ESPECIES	SITIOS DE MUESTREO							BIOMASA TOTAL (gr)
	REF-Hoja	REF-Rinconcito	PML-Caimito	PMC-Botija	PML-Botija	PMC-Petaquilla	PML-Petaquilla	
Macrobrachium acanthurus	23.20	17.51	19.88	5.68	14.20	6.96	15.98	103.41
Macrobrachium crenulatum	18.79	7.75	16.40	15.72	8.35	7.15	7.93	82.09
Macrobrachium heterochirus	9.94	8,52	4.73	8.09	3.31	1,42	6.70	42.71
Macrobrachium americanum	1.78	3.13	1.37	6.41	1.83	0.45	0.38	15.35
Macrobrachium olfersii	5.36	3.75	7.17	2.39	5.46	4.09	3.41	31.63
Atya scabra	53.82	111.35	25.98	38.36	27.83	16.70	34.02	308.06
Potimirin glabra	8.17	6.37	7.91	4.47	4,13	5.44	3.46	39.95
BIOMASA TOTAL (gr)	**121.06**	**158.38**	**83.44**	**81.12**	**65.11**	**42.21**	**71.88**	**623.20**

Durante este monitoreo se pudo observar algunas especies de camarones como *M, americanum, M. acanthurus y M. crenulatum*, asi como a *Atya scabra y P. glabra* con hembras ovígeras en sitios como 4CA, 6BO y 8PE los más cercanos a zonas de estuario para su desove.

El uso de los camarones como indicadores de la calidad ecológica de los ecosistemas fluviales todavía no ha sido abordado. Su presencia y grado de sensibilidad ante las alteraciones antrópicas debe ser valorado, con el fin de obtener un índice de aplicación al caso de las aguas panameñas.

En algunos sitios de muestreo, las capturas de camarones y peces con equipos de pesca eléctrica (foto derecha) se complementaron con pescas con atarrallas.

PRINCIPALES TAXONES DE CAMARONES

Macrobrachium americanum (Bate, 1868)

Macrobrachium crenulatum (Holthuis, 1950)

Macrobrachium heterochirus (Wiegmann, 1836)

Macrobrachium acanthurus (Wiegmann, 1836)

Macrobrachium olfersii (Wiegmann, 1836)

Atya scabra (Leach, 1815)

4.3. Elementos hidromorfológicos y arraigo

4.3.1. Elementos hidromorfológicos

En el **Cuadro 20** se resumen las principales variables del hábitat fluvial de los ríos estudiados.

CUADRO 20. RESUMEN DE LAS VARIABLES DE HÁBITAT FLUVIAL

CÓDIGO	RÍOS	ANCHURA MEDIA (m)	PROF. MEDIA (m)	ALTERACIÓN DE LA RIBERA		ESTABILIDAD		SOMBREADO DEL CAUCE (%)		ACCESIBILIDAD AL CAUCE
				MI	MD	MI	MD	MI	MD	
REF-Hoja	Hoja	10,5	0,5	No alterada	No alterada	Buena	Buena	80	70	Accesible margen derecha
REF-Rinconcito	Rinconcito	12	0,5	No alterada	No alterada	Muy buena	Muy buena	60	50	Accesible
PMC-Caimito	Rio Del Medio	20	1-2	No alterada	No alterada	Muy buena	Muy buena	30	20	Accesible
PML-Caimito	Caimito	60	1-3	Poco alterada	No alterada	Buena	Buena	20	20	Poco accesible
PMC-Botija	Botija	10	0,2-0,3	Alterada	Poco alterada	Buena	Buena	30	40	Accesible
PML-Botija	San Juan	80-100	1-2	No alterada	No alterada	Buena	Buena	10	10	Accesible margen derecha
PMC-Petaquilla	Petaquilla	21	0,2	No alterada	No alterada	Buena	Buena	75	75	Poco accesible
PML-Petaquilla	Petaquilla	25	0,3	No alterada	No alterada	Buena	Buena	80	30	Accesible margen derecha

NOTA: (1) La elevada turbidez del agua impidió el cálculo del índice IHF-PAN en el río Del Medio. MI: margen izquierda. MD: margen derecha.

La valoración de la diversidad de hábitats y el estado de la vegetación de ribera son esenciales para interpretar adecuadamente los indicadores biológicos, como los macroinvertebrados. Así, cuando de forma natural los ríos presentan una baja diversidad de substratos y, por consiguiente, también de hábitats disponibles para la flora o la fauna acuáticas, las comunidades biológicas pueden estar empobrecidas sin que haya ninguna causa antrópica (Prat et al. 2004).

En relación con la calidad del hábitat fluvial, se han evaluado variables relacionadas con el cauce y la ribera. Aspectos como la anchura y profundidad media del punto de muestreo, morfología de la ribera, la calidad de la cubierta vegetal o la del propio cauce han sido registrados como elementos caracterizadores de cada tramo fluvial.

Aunque la valoración hidromorfológica de los tramos seleccionados ha sido muy favorable, se señala que en el caso del río Petaquilla se han observado alteraciones de las riberas en la margen derecha debido a extracciones de minería artesanal y en el río Botija por corta de la vegetación natural, que pueden afectar puntualmente esta valoración.

4.3.2. Arraigo

En el **Cuadro 21** se resumen los porcentajes de los diferentes componentes del sustrato analizado en el estudio granulométrico de cada sitio.

CUADRO 21. PORCENTAJE (%) DE LOS DIFERENTES COMPONENTES DEL SUSTRATO

TAMAÑO DEL TAMIZ	TIPO SUSTRATO	CODIGO SITIOS DE MUESTREO Y RIOS ESTUDIADOS							
		REF-Hoja	REF-Rinconcito	PMC-Caimito	PML-Caimito	PMC-Botija	PML-Botija	PMC-Petaquilla	PML-Petaquilla
		Hoja	Rinconcito	Del Medio	Caimito	Botija	San Juan	Petaquilla	Petaquilla
>1 mm	Arena muy gruesa	87,61	89,34	78,93	81,63	86,09	93,62	84,87	88,80
500 µm	Arena gruesa	7,23	5,09	10,07	11,30	9,39	3,92	10,73	6,40
250 µm	Arena mediana	3,99	4,92	9,10	6,49	3,73	1,78	3,74	3,87
125 µm	Arena fina	0,81	0,51	1,37	0,41	0,38	0,30	0,33	0,46
<125 µm	Arena muy fina-limo	0,23	0,05	0,20	0,07	0,16	0,21	0,17	0,38

Para el estudio del arraigo, en tres de los hábitats de rápidos escogidos para el muestreo de macroinvertebrados bentónicos se insertó un tubo de núcleo a 10 cms. del sustrato, lo que corresponde a la profundidad del muestreo de macroinvertebrados bentónicos. Luego se selló el fondo del núcleo y se sacó el sustrato del río, conservándose en bolsas de plástico refrigeradas hasta su análisis.

En el laboratorio se lavó el sustrato en una serie de tamices, separando el sustrato la arena muy gruesa (>1.0 mm), arena gruesa (500 µm), arena mediana (250 µm), arena fina (150 µm) y arena muy fina (<150 µm). Se determinó el peso de cada categoría de tamaño.

Las fracciones de arena son las categorías de interés primordial. Si los estudios de seguimiento en el tiempo demuestran que ha habido un aumento significativo en las fracciones de arena en los mismos lugares, ello indicará que el arraigo ha aumentado. Los cambios de las cantidades de materiales de grano fino también pueden utilizarse como una medida de apoyo para la interpretación de cualquier cambio en la estructura de la comunidad de invertebrados. En el gráfico adjunto se representan porcentualmente cada fracción del sustrato analizado.

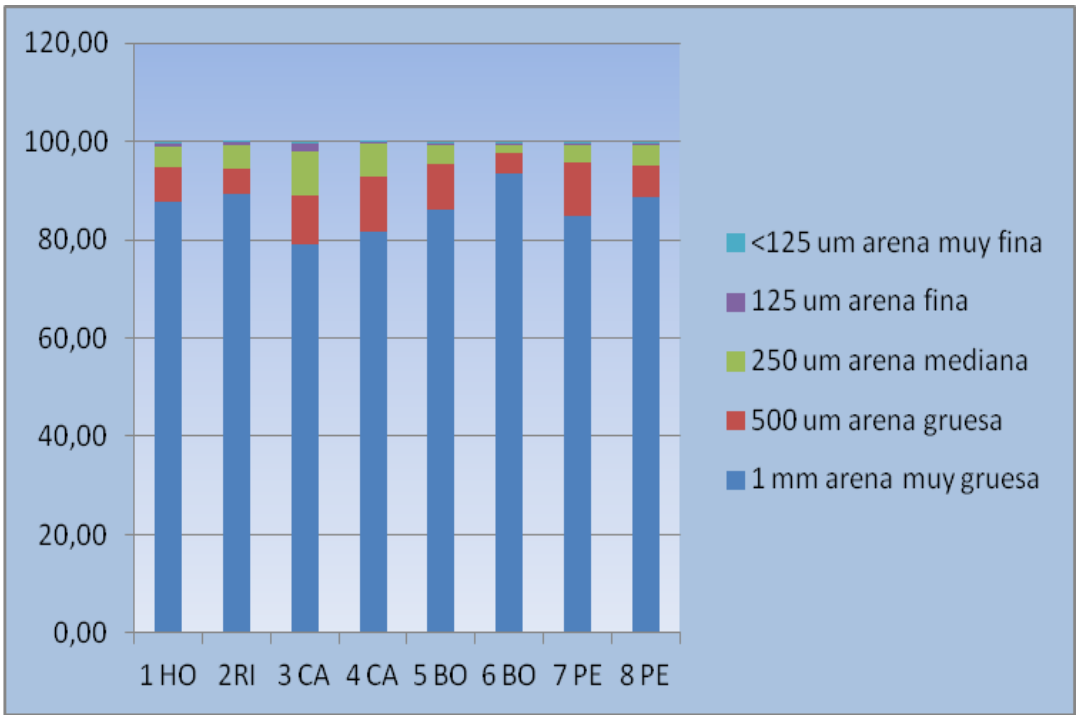


Gráfico 11. Distribución porcentual de las arenas en los diferentes sitios de muestreo

El porcentaje de arena mediana a muy fina se encuentra inferor al 5% en la mayor parte de los cauces estudiados. Unicamente el río Del Medio y el río Caimito presentan porcentajes superiores de 10,6 y 6,9% respectivamente de arenas medianas a muy finas.

Los ríos Del Medio (foto izquierda) y Caimito presentan el mayor porcentaje de arena mediana a muy fina en el sustrato.

5. ANÁLISIS DE INDICADORES AMBIENTALES

Se ha procedido en el presente capítulo al análisis de los indicadores ambientales que se vienen empleando de forma rutinaria en el EEA, como una herramienta para el seguimiento de las condiciones de calidad de los ecosistemas de agua dulce superficiales a partir de la integración de diferentes índices de calidad.

Los indicadores empleados se recogen en el **Cuadro 22.**

CUADRO 22. INDICADORES AMBIENTALES SELECCIONADOS PARA EL SEGUIMIENTO DE LOS ECOSISTEMAS DE AGUA DULCE

Subcomponente del Programa	Indicador	Frecuencia de Medición	Frecuencia de informes	Perido de toma de datos
Flora y Fauna	Densidad y riqueza de especies de macro-invertebrados acuáticos.	Anual	Anual	abril- mayo
	Índice de diversidad de Simpson, Bray Curtis e indice de similitud, EPT taxa y abunadancia de macro-invertebrados acuáticos.	Anual	Anual	abril- mayo
	Condicion física de especies de peces indicadoras	Anual	Anual	abril- mayo
Criterios Físico y Químicos	pH, temperatura, conductividad específica, Oxígeno disuelto, turbiedad, temperatura, metales disueltos, nutrientes en agua y metales en sedimentos.	Anual	Anual	abril- mayo
	Índice mg de elemento / Kg de tejido en peces, donde el elemento de interés es son los metales pesados.	Anual	Anual	abril- mayo

Dado que los resultados obtenidos para cada elemento y variable estudiada están ampliamente desarrollados en los distintos apartados del estudio, con el fin de resumir e interpretar estos resultados de la forma más sencilla posible, se ha utilizado una simbología que indica la tendencia de cada indicador en el tiempo en comparación con las condiciones de referencia y la línea de base del año 2012 y el año 2015 y último monitoreo 2016[8].

La simbología y significado empleado para valorar la tendencia de cada grupo de indicadores ambientales se recoge en el **Cuadro 23**.

CUADRO 23. SÍMBOLOS EMPLEADOS PARA INDICAR LA TENDENCIA DE LOS INDICADORES

SIMBOLOGÍA	INTERPRETACIÓN DE LA TENDENCIA
↑	El valor del indicador tiende a subir, las condiciones mejoran
→	Se mantiene el valor del indicador, las condiciones no varían
↓	El valor del indicador tiende a bajar, las condiciones empeoran

La comparación en la tendencia de los indicadores para los diferentes años de monitoreo se resume en el **Cuadro 24.**

Teniendo en cuenta el análisis realizado, se puede señalar que la tendencia de los cinco indicadores comparados entre la línea base del año 2012 y el año 2015 y el presente monitoreo 2016 indican variaciones poco significativas entre los mismos.

Se destaca el aumento de la tendencia en los índices de macroinvertebrados en el río Petaquilla en el sitio PMC-Petaquilla en comparación con los años 2012 y 2015, quizá debido a un descenso puntual de la minería artesanal.

En conclusión, las condiciones generales analizadas han variado de forma muy poco significativa, no apreciándose por el momento una tendencia hacia peores condiciones en la salud de los ecosistemas acuáticos (abióticos y bióticos) asociados con las actividades de construcción de la mina.

[8] La comparación entre los valores brutos obtenidos de cada indicador puede dar lugar a errores debidos a las variaciones en las metodologías empleadas y cambios en las condiciones de los muestreos.

CUADRO 24. SÍMBOLOS EMPLEADOS PARA INDICAR LA TENDENCIA DE LOS INDICADORES

INDICADOR	AÑO DE SEGUIMIENTO	CODIGO SITIOS DE MUESTREO Y RIOS ESTUDIADOS							
		REF-Hoja	REF-Rinconcito	PMC-Caimito	PML-Caimito	PMC-Botija	PML-Botija	PMC-Petaquilla	PML-Petaquilla
		Hoja	Rinconcito	Del Medio	Caimito	Botija	San Juan	Petaquilla	Petaquilla
INDICADOR 1 (Densidad y riqueza de macrobentos)	2012	→	→	→	→	→	→	→	→
	2015	→	→	(3)	(3)	→	→	→	(2)
	2016	→	→	(1)	→	→	→	→	→
INDICADOR 2 (Indices del macrobentos)	2012	→	→	→	→	→	→	→	→
	2015	→	→	(3)	(3)	→	→	→	(2)
	2016	→	→	(1)	→	→	→	↑	↑
INDICADOR 3 (Condicion física de especies de peces indicadoras)	2012	→	→	→	→	→	→	→	→
	2015	→	→	(3)	(3)	→	→	→	(2)
	2016	→	→	(1)	→	→	→	→	→
INDICADOR 4 (Condiciones físico-químicas y metales en agua y metales en sedimento)	2012	→	→	→	→	→	→	→	→
	2015	→	→	(3)	(3)	→	→	→	(2)
	2016	→	→	→	→	→	→	→	→
INDICADOR 5 (Índice mg de metales/Kg de tejido en peces)	2012	→	→	→	→	→	→	→	→
	2015	→	→	(3)	(3)	→	→	→	(2)
	2016	→	→	(1)	→	→	→	→	→

NOTAS: (1). No se obtuvieron muestras en el año 2016 debido al elevado caudal y turbidez del río Del Medio en PMC-Caimito en la época del muestreo. (2) No se dispone de información para el año 2015, debido a que este sitio se empezó a monitorear en el año 2016. (3) No se muestrearon los sitios PMC-Caimito y PML-Caimito en el año 2015.

6. ESTADO ECOLÓGICO Y DIAGNÓSTICO

6.1. Justificación

El concepto de estado ecológico difiere sensiblemente del concepto de calidad del agua que se ha venido utilizando tradicionalmente, ya que mientras la calidad del agua expresa la mayor o menor potencialidad o aptitud del agua para dedicarla a un uso determinado (bebida, baño, riego, etc.), el estado ecológico es una expresión de la calidad de la estructura y el funcionamiento de los ecosistemas acuáticos asociados a las aguas superficiales.

Para evaluar el estado ecológico de un agua se emplean tres tipos de elementos (físico-químicos, biológicos e hidromorfológicos) que en su conjunto describen cómo se comporta el ecosistema acuático frente a posibles impactos y si se han produjo cambios en su estructura o funcionamiento como consecuencia de los mismos. A su vez, cada uno de estos elementos viene representado por uno o varios índices de calidad.

A diferencia de los análisis basados en cambios estructurales de las comunidades biológicas (número de especies, diversidad, etc) para evaluar posibles alteraciones en la calidad del agua, los índices de calidad se basan en el empleo de organismos o características del medio en el que habitan y, especialmente, en su sensibilidad a determinados efectos ambientales visibles macroscópicamente o microscópicamente. Proporcionan una información semi-cuantitativa sobre la contaminación de los ecosistemas acuático y permiten evaluar directamente el impacto ambiental de las actividades humanas.

6.2. Índices de calidad del agua. Metodología y resultados

6.2.1. Macroinvertebrados

Para evaluar la calidad biológica del agua con el grupo de macroinvertebrados, se ha empleado el índice BMWP/PAN desarrollado para Panamá por el Instituto Commemorativo Gorgas de Estudios de la Salud (ICGES). En el **Cuadro 25** se muestran las clases de calidad para los valores que puede tomar el índice BMWP/PAN de macroinvertebrados

CUADRO 25. CLASES DE CALIDAD SEGÚN EL ÍNDICE BMWP/PAN

VALOR INDICE	NIVEL DE CALIDAD	ESTADO O CLASE DE CALIDAD (1)
>101	Aguas no contaminadas/alteradas de modo sensible	MUY BUENA (BUENA)
61-100	Aguas ligeramente contaminadas	BUENA (ACEPTABLE)
36-60	Aguas moderadamente contaminadas	MODERADA (DUDOSA)
16-35	Aguas muy contaminadas	DEFICIENTE-MALA (CRÍTICA)
<15	Aguas fuertemente contaminadas	MALA-CRITICA (MUY CRÍTICA)

Sobre la base de aplicar el índice BMWP/PAN a los datos de macroinvertebrados, en el **Cuadro 26** se incluyen los resultados obtenidos y el estado de calidad.

CUADRO 26. NIVEL DE CALIDAD SEGÚN EL ÍNDICE BMWP/PAN

CÓDIGO SITIO DE MUESTREO	RIO	VALOR DEL ÍNDICE IBMW-PAN	SIGNIFICADO O NIVEL DE CALIDAD	ESTADO DE CALIDAD
REF-Hoja	Hoja	82	Aguas ligeramente contaminadas	**BUENA**
REF-Rinconcito	Rinconcito	138	Aguas muy limpias	**MUY BUENA**
PML-Caimito	Caimito	118	Aguas muy limpias	**MUY BUENA**
PMC-Botija	Botija	97	Aguas ligeramente contaminadas	**BUENA**
PML-Botija	San Juan	103	Aguas muy limpias	**MUY BUENA**
PMC-Petaquilla	Petaquilla	97	Aguas ligeramente contaminadas	**BUENA**
PML-Petaquilla	Petaquilla	82	Aguas ligeramente contaminadas	**BUENA**

Como se puede comprobar, todos los ríos presentan un estado de calidad en cuanto a la presencia de especies indicadoras del macrobentos MUY BUENO a BUENO, con escasas diferencias entre ellos. El valor más elevado lo toma el río Rinconcito y los valores más bajos el Petaquilla y Hoja, aunque dentro de la calidad de aguas ligeramente contaminadas con calidades tipo BUENA.

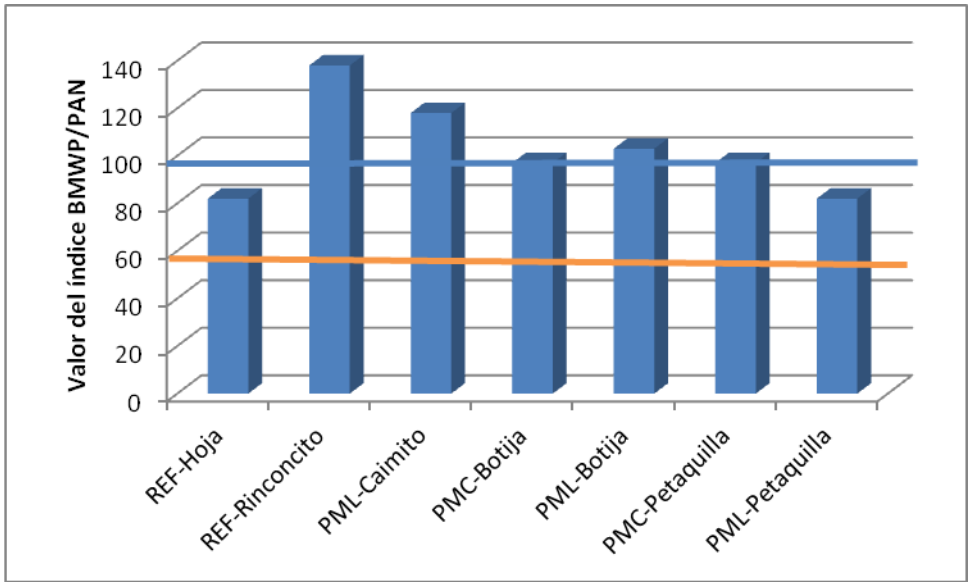


Gráfico 12. Comparativa del índice BMWP/PAN entre sitios de muestreo. Se indica el límite de clase BUENO (61) y MUY BUENO (101).

6.2.2. Perifiton

Teniendo en cuenta la composición y abundancia de valvas del perifiton, se ha procedido al cálculo del índice IPS (Specific Polluosensitivity Index, CEMAGREF, 19829), de amplia aceptación científica mundial para determinar la calidad del agua a partir de la composición del perifiton. Para su cálculo, se ha empleado el programa OMNIDIA 6.0[10].

En el **Cuadro 27** se muestran las clases de calidad para los valores que puede tomar el índice IPS para valorar el estado de la calidad del agua a partir del perifiton.

CUADRO 27. CLASES DE CALIDAD SEGÚN EL ÍNDICE IPS

VALOR INDICE	NIVEL DE CALIDAD	ESTADO O CLASE DE CALIDAD (1)
>17	Aguas muy limpias	MUY BUENA
13-17	Aguas con buena calidad	BUENA
9-13	Aguas moderadamente contaminadas	MODERADA
5-9	Aguas muy contaminadas	DEFICIENTE
<5	Aguas fuertemente contaminadas	MAL

Sobre la base de aplicar el índice IPS a los datos de perifiton, en el **Cuadro 28** se incluyen los resultados obtenidos y las clases de calidad.

CUADRO 28. NIVEL DE CALIDAD SEGÚN EL ÍNDICE IPS DE PERIFITON

CÓDIGO SITIO DE MUESTREO	RIO	VALOR DEL ÍNDICE IPS	SIGNIFICADO O NIVEL DE CALIDAD	ESTADO DE CALIDAD
REF-Hoja	Hoja	12,6	Aguas moderadamente contaminadas	**MODERADA**
REF-Rinconcito	Rinconcito	14,2	Aguas con buena calidad	**BUENA**
PMC-Caimito	Del Medio	14,2	Aguas con buena calidad	**BUENA**
PML-Caimito	Caimito	14,4	Aguas con buena calidad	**BUENA**
PMC-Botija	Botija	17	Aguas con buena calidad	**BUENA**
PML-Botija	San Juan	17	Aguas con buena calidad	**BUENA**
PMC-Petaquilla	Petaquilla	18,4	Aguas muy limpias	**MUY BUENA**
PML-Petaquilla	Petaquilla	18,8	Aguas muy limpias	**MUY BUENA**

Como se puede comprobar, con excepción del río Hoja en donde a partir del índice de perifitos se ha clasificado su calidad como MODERADA, todos los ríos presentan un estado de calidad en cuanto a la presencia de especies indicadoras de estado MUY BUENO a

[9] CEMAGREF. 1982. *Étude des méthodes biologiques d'appréciation quantitative de la qualité des eaux*. Rapport Q.E. Lyon-A.F. Bassin Rhône-Méditeranée- Corse. 218 pp.
[10] http://omnidia.fr/en/order-omnidia/

BUENO, con escasas diferencias entre ellos. El valor más elevado lo toma el río Petaquilla, con calidades de aguas muy limpias.

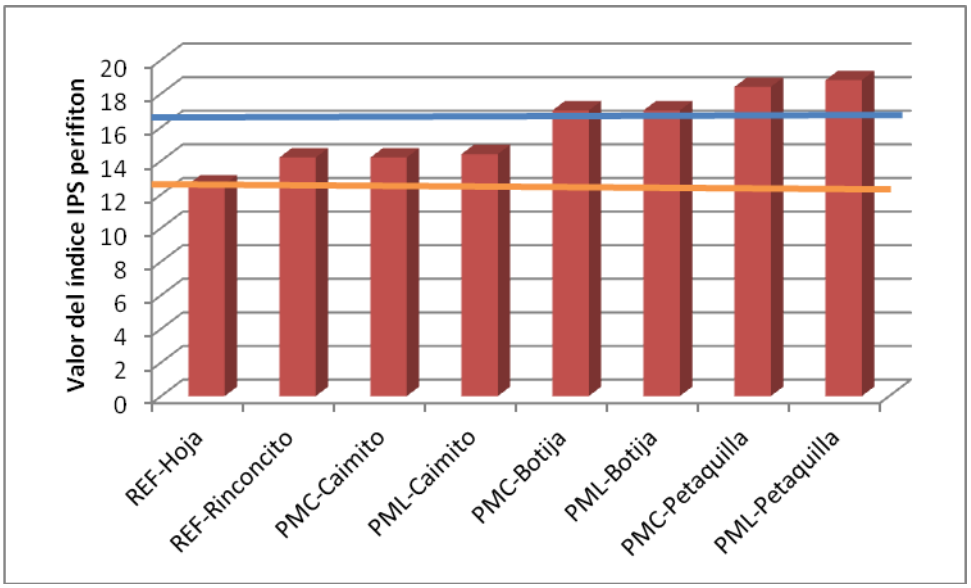


Gráfico 12. Comparativa del índice IPS entre sitios de muestreo. Se indica el límite de clase BUENO (13) y MUY BUENO (17).

6.2.3. Peces

Para evaluar la calidad del ecosietma fluvial a través de los peces, se ha empleado el índice IBI de amplia aceptación científica en todo el mundo (Karr, 1991). El índice se ha diseñado y adaptado a partir de atributos básicos de las comunidades de peces presentes en ríos del Caribe panameño: riqueza y composición de especies, estructura trófica y condición y abundancia de los peces. Para ello, se han considerado, en primer lugar, el número de especies presentes, número de individuos (como CPUE en ind/min) y su diversidad (índice Shannon-Weaber). En segundo lugar, los atributos ecológicos de cada especie, así como su estado de salud (proporción de especies con anomalías).

Para cada uno de los criterios, el investigador asigna un valor a la muestra: un signo menos (1), un cero (3), o un signo más (5). Este enfoque propuesto por Karr (1981), permite la flexibilidad para acomodar la variación evolutiva y las historias ecológicas de los peces entre las cuencas. En el **Cuadro 29** se resume el estado de calidad a partir de los valores que puede alcanzar el Índice de Integridad Biótica (IBI por sus siglas en Ingles) teniendo en cuenta los parámetros analizados.

CUADRO 29. ESTADOS DE CALIDAD PARA EL ÍNDICE IBI DE PECES		
VALOR IBI	**SIGNIFICADO**	**ESTADO Y COLOR REPRESENTATIVO**
>40	Comparables a las mejores condiciones naturales, sin influencia del hombre; todas las especies nativas esperadas para el hábitat o tamaño del cuerpo de agua presentes, incluyendo las formas intolerantes; estructura trófica balanceada.	MUY BUENA
30-40	Riqueza de especies un tanto por debajo de lo esperado, debido especialmente a la pérdida de las formas intolerantes; algunas especies con distribución de la abundancia o de tamaño inferior al óptimo; la estructura trófica muestra algunos signos de estrés.	BUENA
20-30	Signos de deterioro adicional, incluye pocas especies intolerantes; estructura trófica más alterada (p. ej., aumento en la frecuencia de omnívoros); las mayores clases de edad de carnívoros pueden ser raras.	MODERADA
10-20	Dominada por omnívoros, especies tolerantes a la contaminación y de hábitat generalistas, pocos carnívoros; tasas de crecimiento y factores de condición disminuidos; presencia de formas híbridas y peces con enfermedades.	DEFICIENTE
<10	Pocos peces presentes, la mayoría introducidos o formas muy tolerantes; los híbridos son comunes; parásitos y enfermedade frecuentes, los daños en las aletas y otras anomalías (tumores) son comunes. Menor valor toman los sitios con ausencia de peces	MALA

Teniendo en cuenta la metodología de cálculo del índice IBI, los resultados obtenidos para este índice en el conjunto de sitios de muestreo se muestran en el **Cuadro 30**.

CUADRO 30. RESULTADOS DE LA VALORACIÓN DEL ESTADO DE CALIDAD A PARTIR DEL INDICE IBI DE PECES								
PARÁMETROS	**CRITERIOS**	**CODIGO SITIOS DE MUESTREO Y RIOS ESTUDIADOS**						
		REF-Hoja	**REF-Rinconcito**	**PML-Caimito**	**PMC-Botija**	**PML-Botija**	**PMC-Petaquilla**	**PML-Petaquilla**
		Hoja	**Rinconcito**	**Caimito**	**Botija**	**San Juan**	**Petaquilla**	**Petaquilla**
Número de especies	1 baja; 3 media; 5 alta	1	5	3	3	5	1	3
Número de especies sensitivas (intolerantes)	1 baja; 3 media; 5 alta	5	5	5	5	5	3	1
Número de especies bénticas	1 baja; 3 media; 5 alta	3	3	3	3	3	3	3
Número de especies exóticas	1 alta; 3 media; 5 baja	5	5	5	5	5	5	5
Índice de diversidad (Shannon-Wieber)	1 baja; 3 media; 5 alta	3	5	3	1	5	3	5
Proporción de omnívoros	<20% 5 alta; 20-40% 3 media; >40 1 baja	5	5	5	5	5	3	3

CUADRO 30. RESULTADOS DE LA VALORACIÓN DEL ESTADO DE CALIDAD A PARTIR DEL INDICE IBI DE PECES								
PARÁMETROS	**CRITERIOS**	**CODIGO SITIOS DE MUESTREO Y RIOS ESTUDIADOS**						
		REF-Hoja	**REF-Rinconcito**	**PML-Caimito**	**PMC-Botija**	**PML-Botija**	**PMC-Petaquilla**	**PML-Petaquilla**
		Hoja	**Rinconcito**	**Caimito**	**Botija**	**San Juan**	**Petaquilla**	**Petaquilla**
Proporción de detritívoros	<20% 5 alta; 20-40% 3 media; >40 1 baja	3	3	3	3	3	3	3
Proporción de carnívoros tope	<1% 1 baja; 20-40% 3 media; >5 5 alta	3	3	3	3	3	3	3
Número de individuos	1 baja; 3 media; 5 alta	1	3	5	5	5	1	1
Proporción de peces con anomalías	1 alta; 3 media; 5 baja	5	5	5	5	5	5	5
VALOR IBI		**34**	**42**	**40**	**38**	**44**	**30**	**32**
ESTADO CALIDAD		**BUENA**	**MUY BUENA**	**BUENA**	**BUENA**	**MUY BUENA**	**BUENA**	**BUENA**

Como se puede comprobar, todos los sitios presentan calidades BUENAS, y MUY BUENAS en el punto de referencia del Río Rinconcito y San Juan, con una mayor diversidad y densidad de peces.

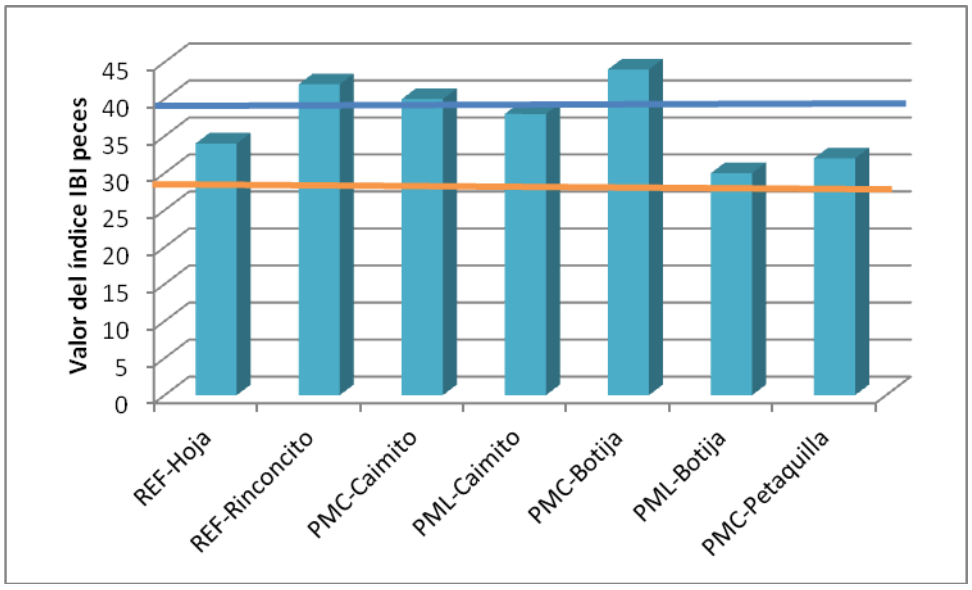


Gráfico 13. Comparativa del índice IBI entre sitios de muestreo. Se indica el límite de clase BUENO (30) y MUY BUENO (40).

6.2.4. Elementos hidromorfológicos

Se han empleado dos índices adaptados a las condiciones limnológicas de Panamá para evaluar la calidad hidromorfológica de los cauces: índice QBR-PAN de calidad de ribera e IHF-PAN de hábitat fluvial.

Para el cálculo del índice QBR-PAN se determina, en primer lugar, el tipo morfológico del cauce, a través del tipo de desnivel de la zona de ribera, la presencia de islas en el lecho y la capacidad de soportar vegetación de ribera. Una vez establecido el tipo morfológico, se da puntuación a cada uno de las siguientes variables:

- Grado de cobertura de la zona de ribera.
- Estructura de la cobertura.
- Calidad de la cobertura.
- Grado de naturalidad del canal fluvial.

Cada uno de estos cuatro bloques puede adquirir una puntuación desde 0 a 25 puntos. El valor del QBR-PAN se obtendrá por suma de estos cuatro bloques, de modo que dicho valor estará comprendido entre 0 y 100 puntos. Los valores obtenidos que se han comparado con los valores de referencia establecidos para las aguas de Panamá, como se muestra en el **Cuadro 31**.

CUADRO 31. ESTADOS DE CALIDAD PARA EL ÍNDICE QBR-PAN

VALOR QBR-PAN	ESTADO O CLASE DE CALIDAD	ESTADO Y COLOR REPRESENTATIVO
≥ 95	Bosque de ribera sin alteraciones y natural, calidad muy buena	MUY BUENA
75 – 90	Bosque ligeramente perturbado, calidad buena	BUENA
55 – 70	Inicio de alteración importante, calidad intermedia	MODERADA
30 – 50	Alteración fuerte, calidad deficiente	DEFICIENTE
≤ 25	Degradación extrema, calidad mala	MALA

El índice IHF-PAN se basa en siete bloques que ofrecen una matriz de puntuación con la que se determina la calidad del hábitat. Cada uno de los siete bloques cuantifica atributos diferentes del espacio a analizar:

- Inclusión de rápidos – sedimentación, pozas.
- Frecuencia de rápidos.
- Composición del sustrato.
- Regímenes de velocidad/profundidad.
- Porcentaje de sombra en el cauce.
- Cobertura y diversidad de vegetación acuática.
- Elementos heterogeneidad.

Los valores obtenidos que se han comparado con los valores de referencia establecidos para las aguas de Panamá. En el **Cuadro 32**, se recoge la valoración del índice IHF-PAN.

CUADRO 32. ESTADOS DE CALIDAD PARA EL ÍNDICE IHF-PAN		
VALOR IHF-PAN	**ESTADO O CLASE DE CALIDAD**	**ESTADO Y COLOR REPRESENTATIVO**
≥72	Hábitat fluvial muy diverso. Calidad muy buena	MUY BUENA
50 – 71	Hábitat fluvial diverso. Calidad buena	BUENA
40 – 49	Hábitat fluvial escasamente diverso. Calidad moderada	MODERADA
30 – 39	Pérdida significativa de heterogeneidad. Calidad deficiente	DEFICIENTE
≤30	Hábitat muy homogéneo. Calidad mala	MALA

En el **Cuadro 33** se recogen los resultados de los mencionados índices y estado global.

CUADRO 33. ESTADOS DE CALIDAD PARA EL ÍNDICE IHF-PAN				
CÓDIGO	**RÍOS**	**IHF**	**QBR**	**ESTADO DE CALIDAD GLOBAL (1)**
REF-Hoja	Hoja	63	100	BUENA
REF-Rinconcito	Rinconcito	81	95	MUY BUENA
PMC-Caimito	Del Medio	(1)	100	MUY BUENA
PML-Caimito	Caimito	60	100	BUENA
PMC-Botija	Botija	59	80	BUENA
PML-Botija	San Juan	61	100	BUENA
PMC-Petaquilla	Petaquilla	72	100	MUY BUENA
PML-Petaquilla	Petaquilla	57	100	BUENA

NOTA. El estado de calidad global se ha obtenido con el peor estado de calidad de cada índice.

El índice IHF-PAN resulta un indicador muy fiable, por cu anto sintetiza los datos de diferentes elementos que estructuran el hábitat fluvial. Aunque esté basado en estimas visuales, los parámetros a estimar son cualitativos o semicuantitativos, con lo que los resultados son más objetivables.

En este caso no se trata de índice tan estático como el QBR-PAN, sino que viene directamente influenciado por el caudal. Éste condiciona elementos como la variabilidad de macrohábitats presentes, regímenes de velocidad-profundidad, frecuencia de rápidos, variedad y proporción de granulometrías, o la presencia de determinados elementos que confieren heterogeneidad al cauce (hojarasca, palos, etc).

Los resultados obtenidos de la aplicación de los dos índices indican que el estado de calidad hidromorfológico se encuentran entre MUY BUENO (ríos Rinconcito, Del Medio y Petaquilla) a BUENO (resto de ríos). Cabe señalar que la valoración del estado hidromorfológico para el río Del Medio sólo se hizo con el índice QBR-PAN, ya que no se pudieron estimar bien ciertas características del hábitat para el cálculo del índice IHF-PAN dada la elevada turbidez e imposibilidad de acceder a ciertas zonas del tramo.

6.3. Valoración y diagnóstico del estado ecológico

Una vez calculados los estados de calidad a partir de los índices de calidad, para valorar y diagnosticar el estado ecológico final de los ríos estudiados –con todos los elementos en conjunto-, se ha seguido el esquema de toma de decisiones basado en la metodología original propuesta por la Comisión Europea en el documento guía sobre clasificación del estado ecológico (European Comission, 2003).

De acuerdo con esta metodología, las aguas superficiales se clasifican en cinco clases en función de los resultados obtenidos en cada uno de los indicadores hidromorfológicos, biológicos y físico-químicos: muy bueno, bueno, moderado-aceptable, deficiente y malo.

Para la clasificación del estado ecológico se parte, en principio, de los indicadores biológicos, apoyándose después tanto en las condiciones físico-químicas del agua y sedimentos, como en las hidromorfológicas del cauce (ver esquema **Figura 5**).

Para las condiciones físico-químicas del agua y sedimentos, se ha empleado como criterio el grado de cumplimiento de las normas de calidad que se han considerado[11]. Es decir, si se cumple el valor de referencia para el contaminante específico, la calidad es BUENA y garantizan la función del ecosistema, en caso contrario la calidad es MALA y no garantiza la funcionalidad del ecosistema.

En este esquema, cuando los indicadores biológicos ofrecen un estado por debajo de bueno, la clasificación del estado ecológico final vendría dada por estos mismos indicadores biológicos. En estos casos, se completó el estado ecológico (EE) final con datos de macroinvertebrados al ser los más representativos de un río. Sin embargo, cuando el estado ecológico se estima (mediante indicadores biológicos) como bueno o muy bueno, las condiciones físico-químicas e hidromorfológicas entran en juego, pudiendo bajar la clasificación del estado ecológico a los niveles inferiores de bueno o moderado.

[11] Agua: Norma primaria de calidad ambiental y niveles de calidad para las aguas continentales de uso recreativo para la categoría "sin contacto directo". Decreto Ejecutivo Nº 75 de 4 de junio de 2008. Sedimentos: Protocolo del Consejo Canadiense del Ministerio del Ambiente (CCME) y Ley holandesa de suelos contaminados: "Soil Clean-Up Act.1983".

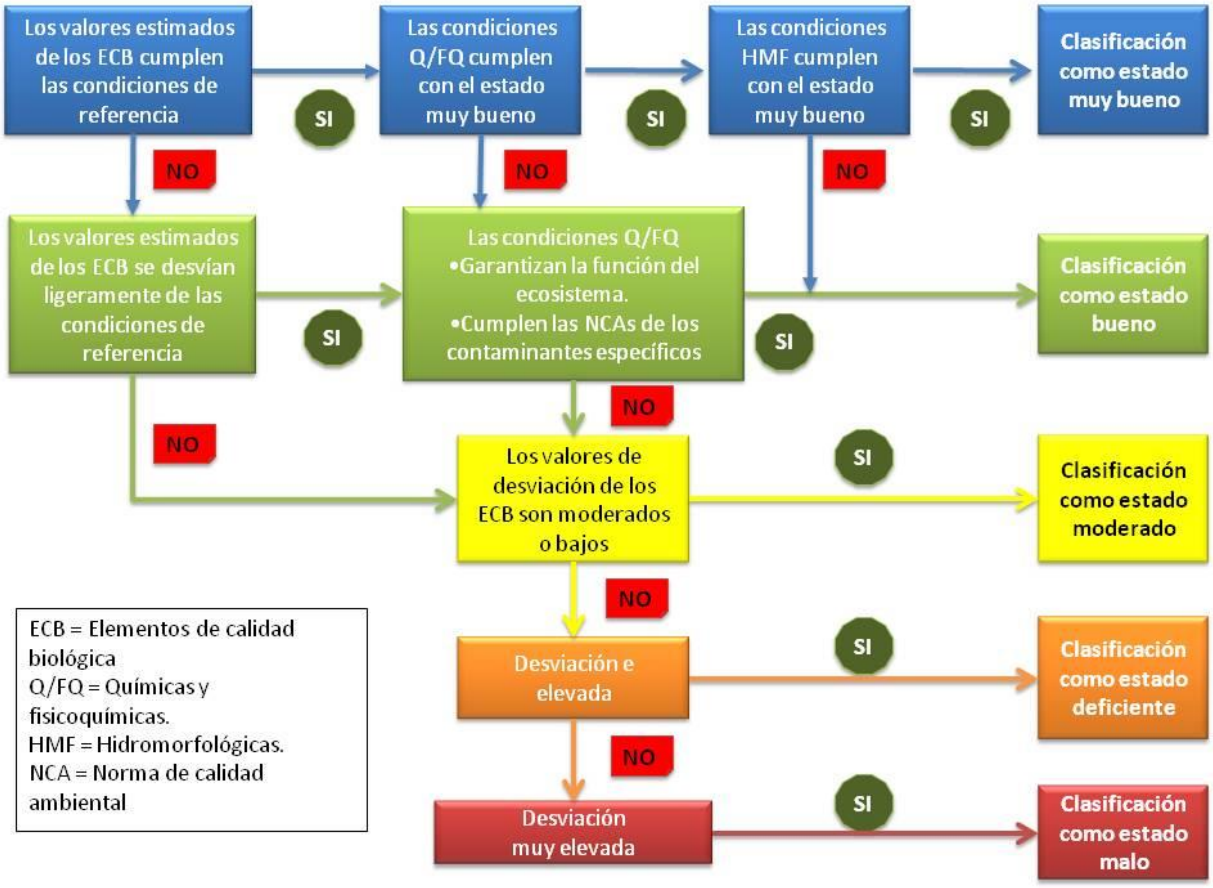


Figura 5. Metodología propuesta por el Grupo de Trabajo 2A de la Unión Europea en el Documento Guía número 13 sobre la clasificación del estado ecológico (European Comission, 2003).

De forma individual para elemento de calidad, se ha seguido en la valoración el modelo más restrictivo. Es decir, se escoge de cada elemento como indicador o índice, de entre todos, aquel cuyo resultado ha sido la estima menos favorable en cada ocasión, según el principio "*uno fuera, todos fuera*": Se ha denominado a este estado ecológico "restrictivo" como EErest, de tal manera que:

$$EE_{rest} = Mínimo\ (EE_{biol})$$

En resumen, para la clasificación del estado ecológico se han utilizado los siguientes elementos de calidad (QEs) y sus correspondientes índices de calidad:

- QEs FÍSICO-QUÍMICA DEL AGUA Y SEDIMENTOS

  - Calidad FQ. Físico-química del agua: temperatura, oxígeno disuelto, pH y turbidez.
  - Calidad QA: Química del agua: sólidos en suspensión y metales pesados
  - Calidad QS. Química del sedimento: metales pesados.

- QEs BIOLÓGICOS

  - Calidad BM. Composición y abundancia del macrobentos. Índice BMWP/PAN
  - Calidad BD. Composición y clases de calidad índice IPS del perifiton
  - Calidad BP. Composición y clases de calidad del índice IBI de peces

- QEs HIDROMORFOLÓGICOS

  - Calidad H. Composición y abundancia de la vegetación de ribera. Índice QBR-PAN y evaluación del hábitat fluvial mediante el Índice IHF-PAN.

En el **Cuadro 34** se sintetizan los resultados de la valoración de los indicadores empleados y del estado ecológico final establecido para los diferentes ríos.

CUADRO 34. VALORACIÓN FINAL DEL ESTADO ECOLÓGICO DE LOS RÍOS

CODIGO SITIO MUESTREO	RÍO	CALIDAD FQ	CALIDAD QA	CALIDAD QS	CALIDAD BM	CALIDAD BD	CALIDAD BP	CALIDAD H	ESTADO ECOLÓGICO
REF-Hoja	Hoja	BUENA	BUENA	MODERADA	BUENA	MODERADA	BUENA	BUENA	**MODERADO**
REF-Rinconcito	Rinconcito	BUENA	BUENA	MODERADA	MUY BUENA	BUENA	MUY BUENA	MUY BUENA	**BUENO**
PMC-Caimito	Del Medio	BUENA	BUENA	MODERADA	(1)	BUENA	(1)	MUY BUENA (2)	**BUENO**
PML-Caimito	Caimito	BUENA	BUENA	MODERADA	MUY BUENA	BUENA	BUENA	BUENA	**BUENO**
PMC-Botija	Botija	BUENA	BUENA	MALA	BUENA	BUENA	BUENA	BUENA	**BUENO**
PML-Botija	San Juan	BUENA	BUENA	MODERADA	MUY BUENA	BUENA	MUY BUENA	BUENA	**BUENO**
PMC-Petaquilla	Petaquilla	BUENA	BUENA	MALA	BUENA	MUY BUENA	BUENA	MUY BUENA	**BUENO**
PML-Petaquilla	Petaquilla	BUENA	BUENA	MALA	BUENA	MUY BUENA	BUENA	BUENA	**BUENO**

NOTAS. (1) No se cuenta con indicador de estado de calidad, ya que no se pudo realizar los muestreos con pesca eléctrica para peces y muestreo con red para macroinvertebrados debido al elevado caudal y turbidez del río Del Medio. (2) Solo valorado con el índice QBR-PAN.

Para cada uno de los ocho sitios de muestreo y ríos estudiados, se resumen en los siguientes puntos el diagnóstico y estado ecológico de los ecosistemas acuáticos:

REFERENCIA RÍO HOJA (REF-Hoja): las condiciones físico-químicas y metales pesados del agua cumplen con los límites del Decreto Ejecutivo Nº 75 de 4 de junio de 2008, con un BUEN estado a pesar de una turbidez del agua media-alta. Para el metal pesado cobre el sedimento presenta un estado de calidad MODERADO, ya que se incumple el límite de efectos bajos (LEB) de la norma canadiense de referencia.

Los elementos biológicos cuentan con BUENOS indicadores para los índices de macroinvertebrados (aunque con menor diversidad y riqueza de taxones en comparación con el resto de sitios) y peces (menores capturas y taxones y una diversidad también menor en comparación), pero MODERADA para el perifiton (con la presencia de alguna especie indicadora de perturbación).

La calidad hidromorfológica se ha valorado como BUENA. Las condiciones generales físico-químicas pueden asegurar el funcionamiento del ecosistema fluvial, pero las condiciones biológicas se han valorado como MODERADAS (teniendo en cuenta el peor de los índices, que es el perifiton).

La valoración final del estado ecológico ha sido MODERADO. Su condición de sitio de referencia puede estar cuestionada -debido a la turbidez del agua-, que puede traer asociados cambios temporales en la composición y tipo de especies biológicas que empeoren los valores de los índices. El porcentaje de arena mediana a muy fina se encuentra inferior al 5%, lo que indica ausencia de alteración en el arraigo.

Río Hoja

REFERENCIA RÍO RINCONCITO (REF-Rinconcito): el estado físico-químico del agua se ha clasificado como BUENO, cumpliendo con los límites del Decreto Ejecutivo Nº 75 de 4 de junio de 2008, con aguas limpias y bien oxigenadas. Para el metal pesado cobre, el sedimento presenta un estado MODERADO por incumplimiento del LEB.

Los macroinvertebrados y peces indican una calidad biológica MUY BUENA -con alta diversidad de especies y número de taxones-, aunque el perifiton se ha clasificado como BUENO. La vegetación de ribera y el hábitat fluvial se encuentran muy bien conservados, en relación directa con la elevada abundancia y diversidad biológica registrada.

El estado ecológico se ha valorado como BUENO, debido al valor que toma el perifiton. De todas formas, se puede destacar que se trata de un sitio de referencia, en el que se han registrado la segunda de las mayores diversidades y número de taxones de peces y los valores más altos para estos parámetros en los macroinvertebrados. El porcentaje de arena mediana a muy fina se encuentra inferior al 5%, lo que indica ausencia de alteración en el arraigo.

Río Rinconcito

PUNTO DE MONITOREO CERCANO RÍO CAIMITO (PMC-Camito): aunque el estado físico-químico del agua se ha clasificado como BUENO, cumpliendo con los límites del Decreto Ejecutivo Nº 75 de 4 de junio de 2008, el río presentaba una elevada turbidez, con sólidos en suspensión ligeramente por debajo del límite legal (50 mg/L). Para el metal pesado cobre, el sedimento presenta MODERADAS concentraciones superando el LEB.

Debido al elevado caudal y turbidez del río que imposibilitó el muestreo de peces y macroinvertebrados, solo se tienen valores de referencia de perifiton, con un estado clasificado como BUENO. Las condiciones hidromorfológicas se han valorado MUY BUENAS solo con el indicador de vegetación de ribera (QBR-PAN), ya que el indicador de hábitat fluvial requiere la observación directa del cauce y tipos de sustratos.

La valoración final del estado ecológico se ha clasificado como BUENO. Presenta porcentajes superiores de 10,6 de arenas medianas a muy finas, lo que indica alteraciones del arraigo por acumulación de materia fina en el sustrato del río.

Río Caimito cercano o Del Medio

PUNTO DE MONITOREO LEJANO CAIMITO (PML-Caimito): el estado físico-químico del agua se ha clasificado como BUENO, cumpliendo con los límites del Decreto Ejecutivo Nº 75 de 4 de junio de 2008, aunque presenta una turbidez moderada y dentro de rangos normales para un tramo bajo de un río tropical. Para el metal pesado cobre, el sedimento presenta un estado de calidad MODERADO incumpliendo el LEB.

Los macroinvertebrados indican una calidad biológica MUY BUENA -con elevado número de taxones- y con BUENOS índices de estado para los peces y perifiton (valores medios-altos de diversidad y nº de taxones). La vegetación de ribera y el hábitat fluvial se han clasificado en BUEN estado, sin alteraciones apreciables, con un bosque subtropical bien conservado.

La valoración final del estado ecológico se ha clasificado como BUENO, debido al valor que toma el perifiton. Se trata de un tramo amplio de río, con una elevada diversidad y presencia de macrohábitats. El porcentaje de arena mediana a muy fina es del 6,9%, relacionado posiblemente con los aportes naturales de su cuenca, sin relación directa con la alteración en el arraigo.

Río Caimito Lejano

PUNTO DE MONITOREO CERCANO BOTIJA (PMC-Botija): el estado físico-químico del agua se ha clasificado como BUENO, cumpliendo con los límites del Decreto Ejecutivo Nº 75 de 4 de junio de 2008. Para el metal pesado cobre, el sedimento presenta un estado de calidad MALO, ya que se incumple el límite de efectos altos (LEA) de la norma canadiense de referencia.

Los macroinvertebrados, peces y el perifiton indican una calidad biológica BUENA, con media-alta diversidad de especies y número de taxones. La vegetación de ribera y el hábitat fluvial se encuentran muy bien conservados, en relación directa con la elevada abundancia y diversidad biológica registrada.

La valoración final del estado ecológico se ha clasificado como BUENO sin que se aprecien por el momento afecciones debidas a la operación de la mina. El porcentaje de arena mediana a muy fina se encuentra inferior al 5%, lo que indica ausencia de alteración en el arraigo, aunque en los trabajos de campo se observó deposición de finos sobre las piedras del fondo y las orillas.

Río Botija

PUNTO DE MONITOREO LEJANO BOTIJA (PML-Botija): el estado físico-químico del agua se ha clasificado como BUENO, cumpliendo con los límites del Decreto Ejecutivo Nº 75 de 4 de junio de 2008. Para el metal pesado cobre, el sedimento presenta un estado de calidad MODERADO, ya que se incumple el leb.

Los macroinvertebrados y peces indican una calidad biológica MUY BUENA -con alta diversidad de especies y número de taxones-, aunque el perifiton se ha clasificado como BUENO. La vegetación de ribera y el hábitat fluvial se encuentran muy bien conservados, en relación directa con la elevada abundancia y diversidad biológica registrada.

La valoración final del estado ecológico se ha clasificado como BUENO. El porcentaje de arena mediana a muy fina se encuentra inferior al 5%, lo que indica ausencia de alteración en el arraigo. Se trata de un amplio río subtropical, sin alteraciones apreciables, que alberga una rica y diversa comunidad biológica no alterada por actividades antrópicas.

Río San Juan

PUNTO DE MONITOREO CERCANO PETAQUILLA(PMC-Petaquilla): el estado físico-químico del agua se ha clasificado como BUENO, cumpliendo con los límites del Decreto Ejecutivo Nº 75 de 4 de junio de 2008. Para el metal pesado cobre, el sedimento presenta un estado de calidad MALO, ya que se incumple el límite de efectos altos (LEA) de la norma canadiense de referencia.

El perifiton presenta un estado de calidad MUY BUENO -con alta diversidad de especies y número de taxones-, aunque los macroinvertebrados y peces se ha clasificado como BUENO, con diversidades y nº de taxones de tpo medio. La vegetación de ribera y el hábitat fluvial se encuentran muy bien conservados, con pequeñas alteraciones en la margen derecha del río debido a explotaciones artesanales.

La valoración final del estado ecológico se ha clasificado como BUENO. El porcentaje de arena mediana a muy fina se encuentra inferior al 5%, lo que indica ausencia de alteración en el arraigo.

PUNTO DE MONITOREO LEJANO PETAQUILLA (PML-Petaquilla): el estado físico-químico del agua se ha clasificado como BUENO, cumpliendo con los límites del Decreto Ejecutivo Nº 75 de 4 de junio de 2008. Para el metal pesado cobre, el sedimento presenta un estado de calidad MALO, ya que se incumple el límite de efectos altos (LEA) de la norma canadiense de referencia.

El perifiton presenta un estado de calidad MUY BUENO -con alta diversidad de especies y número de taxones-, aunque los macroinvertebrados y peces se han clasificado como BUENO, con diversidades y nº de taxones de tpo medio. La vegetación de ribera y el hábitat fluvial se encuentran muy bien conservados, con pequeñas alteraciones en la margen derecha del río debido a explotaciones artesanales.

La valoración final del estado ecológico se ha clasificado como BUENO. El porcentaje de arena mediana a muy fina se encuentra inferior al 5%, lo que indica ausencia de alteración en el arraigo. Este nuevo punto adicional incorporado en el presente monitoreo del año 2016 tiene similares características ecológicas al PMC-Petaquilla, situado también en el río Petaquilla aguas arriba. Las explotaciones artesanales han podido alterar la concentración de cromo en el sedimento; se han producido modificaciones puntuales y de pequeña entidad en las orillas del

río, que no han afectado al cálculo global de los índices hidromorfológicos. No obstante, presentan una media-baja diversidad de especies de peces y macrobentos, aunque sin la presencia de especies indicadoras de alteraciones significativas.

Río Petaquilla cercano (foto izquierda) y lejano.

7. RESUMEN Y RECOMENDACIONES

Los principales resultados obtenidos en el monitoreo de los ecosisemas de agua dulce en MINERA PANAMA del año 2016 se resumen en los siguientes puntos:

- El objetivo principal de la presente consultoría es continuar con el Plan de Monitoreo de Ecosistemas de Agua Dulce iniciado en el año 2012, mediante un Programa de Monitoreo de Efectos Ambientales (EEM por sus siglas en inglés) dirigido a asegurar que los controles ambientales para los afluentes, sedimentos y agua y otras medidas de mitigación sean efectivas para la protección de la viabilidad de los ecosistemas acuáticos de agua dulce alrededor de las operaciones de la mina.

- De esta forma, se ha continuado con la aplicación de los índices e indicadores ambientales establecidos en MINERA PANAMÁ, con el fin de conocer cómo evolucionan en el tiempo desde el año 2012 (considerada la línea base) y su grado de afectación por las actividades de la mina.

- Como objetivo complementario, este año 2016 se ha incluido de forma novedosa la valoración del "estado ecológico" de cada uno de los sitios de muestreo, teniendo en cuenta los siguientes elementos de calidad e indicadores o índices:

  - Elementos de físico-químicos: parámetros de calidad de agua y metales pesados en agua. sedimentos y biota.
  - Elementos de calidad biológicos: macroinvertebrados (índice IBMW/PAN), perifiton (índice IPS) y peces (índice IBI).
  - Elementos hidromorfológicos: vegetación de ribera (índice QBR-PAN), hábitat fluvial (índice IHF-PAN) y arraigo (índice de arraigo IA).

- Una vez calculados los indicadores de calidad físico-químicos, hidromorfológicos y biológicos, para valorar y diagnosticar el estado ecológico se ha seguido el esquema de toma de decisiones basado en la metodología adoptada en el "Proyecto de Saneamiento de los ríos y quebradas de la Ciudad de Panamá y Del Medio marino de la Bahía de Panamá" del Ministerio de Salud y según los criterios de la Directiva Marco del Agua en Europa (DMA, 200/60/CE).

- Desde el punto de vista metodológico, se han seguido protocolos estándares para el muestreo y análisis de los elementos ambientales considerados y similares a los empleados en monitoreos de años anteriores.

- Para los valores de referencia o guía de los parámetros de calidad de aguas (físico-químicos) se ha empleado la siguiente normativa vigente en Panamá, así como normativa específica de referencia para niveles de metales pesados en sedimentos.

  - Norma primaria de calidad ambiental y niveles de calidad para las aguas continentales de uso recreativo para la categoría "sin contacto directo". Decreto Ejecutivo Nº 75 de 4 de junio de 2008.
  - Protocolo del Consejo Canadiense del Ministerio del Ambiente (CCME) y Ley holandesa de suelos contaminados: "Soil Clean-Up Act.1983".

- El diseño original de los emplazamientos de cada punto realizado en el año 2012 dependió del establecimiento de sitios de muestreo cercanos al proyecto (Punto de Muestreo Cercano, PMC), sitios de muestreo río abajo (Punto de Muestreo Lejano, PML) y sitios de muestreo de referencia (REF) que son áreas no influenciadas por el proyecto.

- Para el monitoreo del año 2016 se emplearon los mismos sitios de muestreo que en años anteriores, incluyendo un punto adicional en el río Petaquilla en punto lejano (PML Petaquilla). Estos sitios de muestreos se ubicaron dentro de los cauces receptores de las principales subcuencas afectadas por el proyecto e incluyen:

  - Subcuenca del río Caimito: incluye el río Del Medio o Uvero (PMC-Caimito) como sitio de muestreo cercano y el propio río Caimito (PML-Caimito) como sitio de muestreo lejano, que reciben las aguas de descarga de relaves.

  - Subcuenca del río Botija: incluye el propio río Botija (PMC-Botija) como sitio de muestreo cercano, que recibe las descargas, y más alejado el río San Juan de Turbe (PML-Botija) como sitio de muestreo lejano.

  - Subcuenca del río Petaquilla: con el río Petaquilla en un punto cercano que recibe descargas de los tajos Colina y Valle Grande y minería ilegal (PMC-Petaquilla) y un punto adicional a los empleados en anteriores monitoreos situado más alejado aguas abajo (PML-Petaquilla).

  - Subcuencas de referencia: en las que se han seleccionado los ríos Hoja (REF-Hoja) y Rinconcito (REF-Rinconcito) no afectados por las actividades del proyecto.

- Los muestreos se desarrollaron al final de la estación seca, entre el 30 de abril y el 5 de mayo de 2016 de forma ininterrumpida. Durante este período, las condiciones atmosféricas fueron muy similares, con cielos despejados o poco nublados (< 20% nubes), en general ausencia de lluvias o con presencia ocasional de algún chaparrón y una temperatura ambiente en el rango de 28-31ºC.

- Los flujos estimados de agua para los ríos Rinconcito, Petaquilla, Botija y Del Medio fueron medios-bajos y propios de una estación seca, con caudales del orden de 1,0-2,0 m^3/s. Destaca el moderado caudal de los ríos Caimito y San Juan, con valores estimados de 10-20 m^3/s.

- En ningún río se incumplen los límites para temperatura (variaciones superiores a 3º de las condiciones naturales), pH (6,5-8,5 unidades pH), turbiedad (50-100 NTU), sólidos en suspensión (< 50 mg/L) y oxígeno disuelto (6-7 mg/L) del Decreto Ejecutivo Nº 75 de 4 de junio de 2008. Asimismo, las aguas se caracterizan por su baja dureza y contenido en nutrientes, con escaso contenido en carbono orgánico disuelto (COD) en todas las estaciones. Los sólidos en suspensión han sido bajos, con excepción de la estación PMC-Caimito que recibe las aguas con altos contenidos en sólidos, pero con valores inferiores a 50 mg/L que establece el Decreto Ejecutivo Nº 75 de 4 de junio de 2008.

- Todos los metales pesados en agua incluidos en el Decreto Ejecutivo Nº 75 de 4 de junio de 2008 (arsénico, cadmio, cromo, mercurio y plomo) cumplen con los límites

de calidad. Para el cobre, y por su interés en este monitoreo, se han obtenido concentraciones en agua por encima del valor de referencia de 0,01 mg/L en los sitios de muestreo REF-Hoja, PMC-Caimito y PMC-Botija, que reciben las aguas de lavado de la mina.

- Teniendo en cuenta la referencia para contenido en metales pesados en sedimentos, el cinc solo incumpliría para límites bajos en el río Petaquilla. Para el cobre se incumpliría para límites bajos (LEB) en todos los puntos, excepto en PMC-Botija, PMC-Petaquilla y PML-Petaquilla que también se incumpliría en límites efectos altos (LEA).

- Las concentraciones de metales pesados en tejidos de peces han sido relativamente bajas en todos los sitios de muestreo. En comparación con el resto, la estación de referencia REF-Rinconcito ha presentado mayores concentraciones en cobre y cinc, comparable a la estación REF-Hoja.

- Las concentraciones de metales en camarones fueron notablemente mayores que las que se encontraron en los tejidos de los peces para ciertos metales. Se observa una gran variabilidad en los resultados, con concentraciones más bajas en la estación de referencia REF-Rinconcito en comparación con el resto.

- Las estaciones con densidades más bajas de macroinvertebrados han sido la de los ríos Petaquilla (estación PML-Petaquilla adicional situada más abajo que la estación empleada en anteriores monitoreos) y el REF-Hoja. Las dos estaciones presentan escasa diversidad de hábitats, con predominio de sedimentos finos y gravas, que albergan pocos refugios. Por su parte, las mayores densidades y taxones se han registrado en los ríos Caimito (río con elevada diversidad de hábitats) y Rinconcito, seleccionado éste último de referencia.

- El estado de calidad de las agua sobre la base del índice BMWP/PAN para macroinvertebrados se ha clasificado como MUY BUENO a BUENO, con escasas diferencias entre los sitios de muestreo. El valor más elevado lo toma el río Rinconcito y los valores más bajos el Petaquilla y Hoja, aunque con calidades tipo BUENA.

- Se han identificado un total de 64 especies del perifiton con requerimientos ecológicos principalmente asociados con la alcalinidad, pH y una amplia gama de contenido de nutrientes del agua. Destacan los altos valores de diversidad, nº de taxones y valvas de diatomeas en los ríos Hoja y Rinconcito y moderados en el resto de estaciones. Por su parte, el río Petaquilla presenta bajos valores de estos índices y, por el contrario, los valores más elevados del índice de calidad IPS debido a que en la comunidad de diatomeas dominan especies muy sensibles, lo que hace aumentar el valor de este índice. Como es natural, no parece haber una relación clara entre el contenido en Clorofila "a" y la densidad, debido al diferente contenido de este pigmento en las células analizadas y variable en función de cada especie.

- Con excepción del río Hoja, en donde a partir del índice IPS de perifiton se ha clasificado su calidad como MODERADA, todos los ríos presentan un estado de calidad en cuanto a la presencia de especies indicadoras MUY BUENO a BUENO,

con escasas diferencias entre ellos. El valor más elevado lo toma el río Petaquilla, con calidades de aguas muy limpias.

- Dentro del estudio de peces, se colectaron un total de 400 individuos representados con 9 órdenes, 17 familias, 27 géneros y 30 taxones a nivel de especie. En base a los resultados obtenidos cabe resaltar la presencia de las cuatro especies consideradas de interés en la línea base (EIA, 2010); siendo estas *Bryconchagrensis* (sábalo pipón), *Gobiomorus dormitor* (guabina), *Agonostomus montícola* (lisa de rio) y *Sicydium altum*. Otro aspecto a tomar en cuenta fue la presencia de las especies centinelas (Gobiomorus dormitor y Sicydium altum) en estado de gravidez.

- Las especies de peces registradas en el área de estudio forman parte de la fauna característica de los ríos y quebradas de la zona, donde por factores como la altitud y la temperatura y siguiendo el patrón normal de distribución de las especies, a medida que se sube por el río se espera encontrar una baja diversidad de estas. De igual manera el registro de las especies dependió en algunas ocasiones, de las técnicas de muestreos utilizadas, ya que algunas son más eficientes que las otras y se pueden registrar una mayor variabilidad de especies.

- En relación a las observaciones del estado gonadal de los peces, se indica la gran diferencia encontrada en la madurez de las hembras entre cuencas e incluso entre ríos de la misma cuenca. En algunos ríos presentaban un buen estado (Petaquilla y San Juan), pero en otros (Caimito y Botija) todavía no se encontraba avanzado el proceso de maduración gonadal, no siendo posible las comparaciones.

- Para valorar el estado de calidad biológica de los diferentes ríos estudiados a partir de los peces, se ha aplicado el índice IBI. Para ello, se han considerado, en primer lugar, el número de especies de peces presentes, número de individuos (como CPUE en ind/min) y su diversidad (índice Shannon-Weaber). En segundo lugar, los atributos ecológicos de cada especie, así como su estado de salud (proporción de especies con anomalías).

- Todos los sitios presentan índices IBI elevados, lo que indica calidades BUENAS, y MUY BUENAS en el punto de referencia del río Rinconcito y San Juan, con una mayor diversidad y densidad de peces.

- La fauna de camarones estuvo representada por siete especies, siendo los átidos: *Atya scabra y Potimirin glabra* fueron los más abundantes en toda la colecta, caracterizándose por ser especies que se encuentran en los ríos con fondo rocoso, aguas correntosas y algunas veces con material vegetal. Los sitios con mayor abundancia fueron el REF-Rinconcito con 336 individuos y REF-Hoja con 315 individuos.
- El uso de los camarones como indicadores de la calidad ecológica de los ecosistemas fluviales todavía no ha sido abordado. Su presencia y grado de sensibilidad ante las alteraciones antrópicas debe ser valorado, con el fin de obtener un índice de aplicación al caso de las aguas panameñas.

- Los resultados obtenidos de la aplicación de los dos índices hidromorfológicos (QBR-PAN e IHF-PAN) indican que el estado de calidad hidromorfológico se encuentran entre MUY BUENO (ríos Rinconcito, Del Medio y Petaquilla) a BUENO (resto de ríos). Cabe

señalar que la valoración del estado hidromorfológico para el río Del Medio solo se hizo con el índice QBR-PAN, ya que no se pudieron estimar bien ciertas características del hábitat para el cálculo del índice IHF-PAN dada la elevada turbidez e imposibilidad de acceder a ciertas zonas del tramo.

- Aunque la valoración hidromorfológica de los tramos seleccionados ha sido muy favorable, se señala que en el caso del río Petaquilla se han observado alteraciones de las riberas en la margen derecha debido a extracciones de minería artesanal y en el río Botija por corta de la vegetación natural, que pueden afectar puntualmente esta valoración.

- Se ha continuado en este trabajo con el estudio de arraigo para la evaluación de la erosión y de la condición relativa del hábitat. El porcentaje de arena mediana a muy fina se encuentra inferor al 5% en la mayor parte de los cauces estudiados. Unicamente el río Del Medio y el río Caimito presentan porcentajes superiores de 10,6 y 6,9% respectivamente de arenas medianas a muy finas.

- Una vez calculados los indicadores de estado de calidad para cada uno de los elementos físico-químicos (aguas, sedimentos y biota), biológicos e hidromorfológicos, para valorar y diagnosticar el estado ecológico final de los ríos estudiados –con todos los elementos en conjunto-, se ha seguido el esquema de toma de decisiones basado en la metodología propuesta por la Comisión Europea en el documento guía sobre clasificación del estado ecológico (European Comission, 2003).

- El estado ecológico se define como una expresión de la calidad de la estructura y el funcionamiento de los ecosistemas acuáticos asociados a las aguas superficiales. Se establecen cinco clases de estado ecológico, en función del grado de alteración de la masa de agua respecto a sus condiciones de referencia: Muy bueno, bueno, moderado, deficiente y malo.

- Con excepción del río Hoja, que ha quedado clasificado con un estado ecológico final de MODERADO –debido a los valores que toma el indicador metales pesados en sedimentos y perifiton-, el resto de sitios de muestreo presentan un estado ecológico de BUENO.

- Además de la valoración del estado ecológico, como una herramienta para el seguimiento de las condiciones de calidad de los ecosistemas de agua dulce superficiales a partir de la integración de diferentes índices de calidad, se ha procedido en el presente capítulo al análisis de los indicadores ambientales que se vienen empleando de forma rutinaria en el EEA.

- Con el fin de resumir e interpretar estos resultados de la forma más sencilla posible, se ha utilizado una simbología que indica la tendencia de cada indicador en el tiempo en comparación con las condiciones de referencia y la línea de base del año 2012.

- La tendencia de los cinco indicadores comparados entre la línea base del año 2012, año 2015 y el presente monitoreo 2016 indican variaciones poco significativas entre los mismos. Se destaca el aumento de la tendencia en los índices de macroinvertebrados en el río Petaquilla en comparación con los años 2012 y 2015.

- En este sentido, se destaca que las condiciones generales analizadas han variado muy poco con respecto al año 2012, no apreciándose por el momento una tendencia hacia peores condiciones en la salud de los ecosistemas acuáticos (abióticos y bióticos) asociados con las actividades de construcción de la mina.

Por su parte, teniendo en cuenta los resultados obtenidos, se pueden proponer las siguientes recomendaciones:

1. Se recomienda emplear todos los parámetros de calidad de aguas que establece el Decreto Ejecutivo Nº 75 de 4 de junio de 2008, única norma de calidad de referencia para aguas continentales superficales de uso legal en Panamá.

2. Para otros parámetros que se vienen analizando (por ejemplo, metales pesados en tejidos de peces y camarones) y mientras no haya norma de referencia de aplicación legal en Panamá, se deben adoptar límites y objetivos de calidad internos.

3. El indicador basado en el arraigo, aunque representa una metodología adecuada pero sujeta a una cierta variabilidad asociada con las condiciones hidromorfológicas cambiantes de cada río (por ejemplo, el lavado por arrastres en épocas de crecidas) que puede alterar su resultado, requiere de un índice que permita comparar los valores obtenidos entre los diferentes sitios de muestreo.

4. El empleo de indicadores del estado de calidad a partir de los elementos físico-químicos, biológicos e hidromorfológicos (y de sus índices asociados) para valorar en conjunto el estado ecológico de un ecosistema fluvial, se ha mostrado una herramienta muy integradora y eficaz. Actualmente, ya se está empleando en Panamá en proyectos similares y desde hace años en el resto del mundo (especialmente Europa), por lo que su uso en el futuro monitoreo de los ecosistemas de agua dulce potencialmente afectados por la mina es altamente recomendable.

5. Se debe continuar con el análisis de tendencias de los indicadores ambientales, más que con la comparativa entre valores absolutos, que pueden estar sesgados por los métodos de muestreo y época y características de los muestreos.

ANEXO 1
FICHAS DE LOS SITIOS DE MUESTREO

CÓDIGO SITIO DE MUESTREO: REF-HOJA

NOMBRE DEL RIO: Hoja	**COORDENADAS (DATUM WGS84)**:
LOCALIZACIÓN: Los Bajos	NORTE: 990012 ESTE: 537121
TIPO DE SITIO: Referencia	(0989875N, 0536108E)

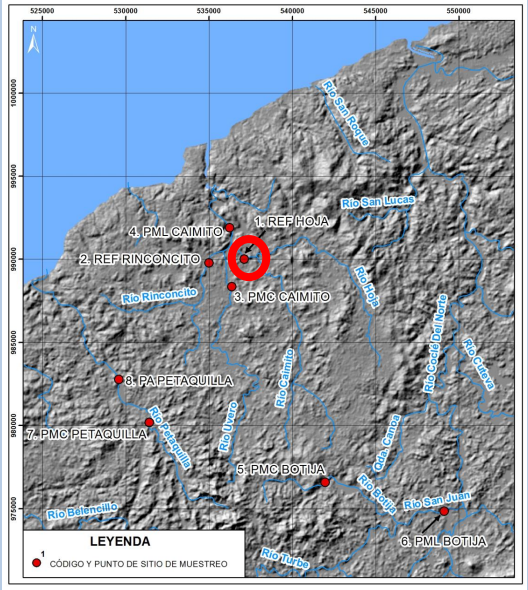
CARACTERÍSTICAS DEL PUNTO: Buena accesibilidad. Presencia de vegetación en las orillas y dominancia grava.

ANCHURA (m): 10,5 **PROFUNDIDAD MEDIA (m)**: 0,5 **TIPOS DE MESOHÁBITATS**: RA, TR, P Y RE.

USO DE LAS RIBERAS: Forestal (I) y agropecuario (D) **GRADO DE ALTERACIÓN**: No alterada

ESTABILIDAD DE LAS ORILLAS: Muy buena **SOMBREADO DEL CAUCE**: 80% (I) y 70% (D)

LOCALIZACIÓN Y FOTOGRAFÍAS DEL SITIO DE MUESTREO



OBSERVACIONES: elevada turbiedad del agua. Accesible por potrera desde la margen izquierda.

CÓDIGO SITIO DE MUESTREO: REF-RINCONCITO)

NOMBRE DEL RIO: Rinconcito
LOCALIZACIÓN: Pequeño tributario
TIPO DE SITIO: Referencia

COORDENADAS (DATUM WGS84):
NORTE: 989768 ESTE: 535002
(09900345N, 0534501E)

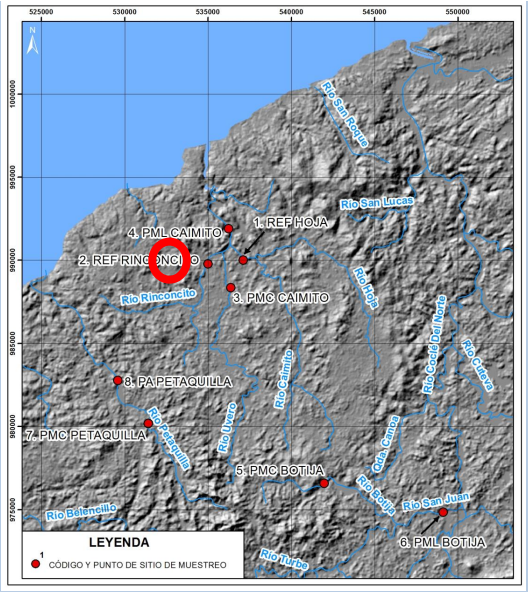
CARACTERÍSTICAS DEL PUNTO: Buena accesibilidad. Presencia de vegetación en las orillas y dominancia grava.

ANCHURA (m): 12,0 **PROFUNDIDAD MEDIA (m)**: 0,5 **TIPOS DE MESOHÁBITATS**: RA, TR, P Y RM.

USO DE LAS RIBERAS: Forestal (I y D) **GRADO DE ALTERACIÓN**: No alterada

ESTABILIDAD DE LAS ORILLAS: Muy buena **SOMBREADO DEL CAUCE**: 60% (I) y 50% (D)

LOCALIZACIÓN Y FOTOGRAFÍAS DEL SITIO DE MUESTREO



OBSERVACIONES: pequeño tributario no alterado con buenas condiciones de referencia.

CÓDIGO SITIO DE MUESTREO: PMC-CAIMITO

NOMBRE DEL RIO: Del Medio (Caimito alto)
LOCALIZACIÓN: Aguas debajo de la Presa de Relaves
TIPO DE SITIO: PMC

COORDENADAS (DATUM WGS84):
NORTE: 988352 ESTE: 536373
(0987316N, 0536211E)

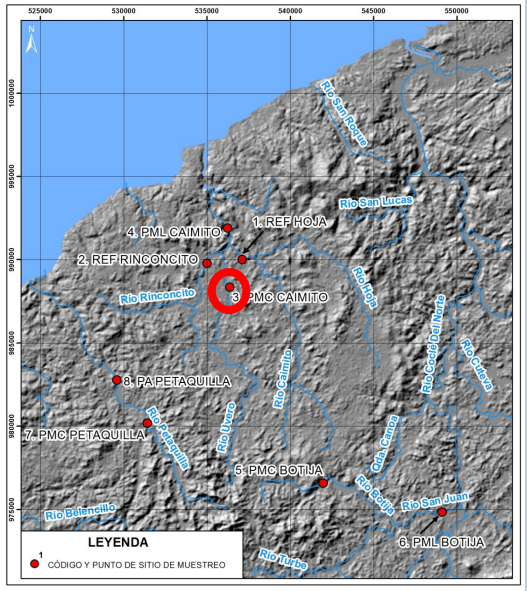
CARACTERÍSTICAS DEL PUNTO: Buena accesibilidad. Presencia de vegetación en las orillas y elevada turbiedad.

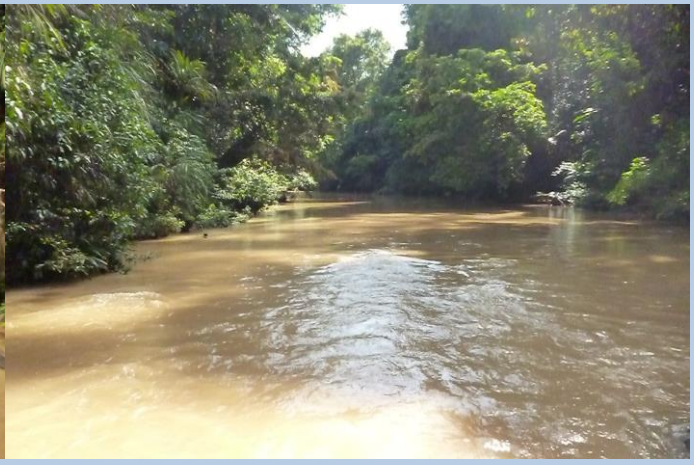
ANCHURA (m): 16,0 **PROFUNDIDAD MEDIA (m)**: 0,5-1,0 **TIPOS DE MESOHÁBITATS**: TR y P.

USO DE LAS RIBERAS: Forestal (I y D) **GRADO DE ALTERACIÓN**: No alterada

ESTABILIDAD DE LAS ORILLAS: Muy buena **SOMBREADO DEL CAUCE**: 60% (I) y 50% (D)

LOCALIZACIÓN Y FOTOGRAFÍAS DEL SITIO DE MUESTREO





OBSERVACIONES: elevado caudal y turbiedad. Imposibilidad de entrar en el cauce.

CÓDIGO SITIO DE MUESTREO: PML-CAIMITO

NOMBRE DEL RIO: Del Medio (Caimito alto) **LOCALIZACIÓN**: Segunda corriente **TIPO DE SITIO**: PML	**COORDENADAS (DATUM WGS84)**: NORTE: 991898 ESTE: 536244 (0991541N, 0536430E)

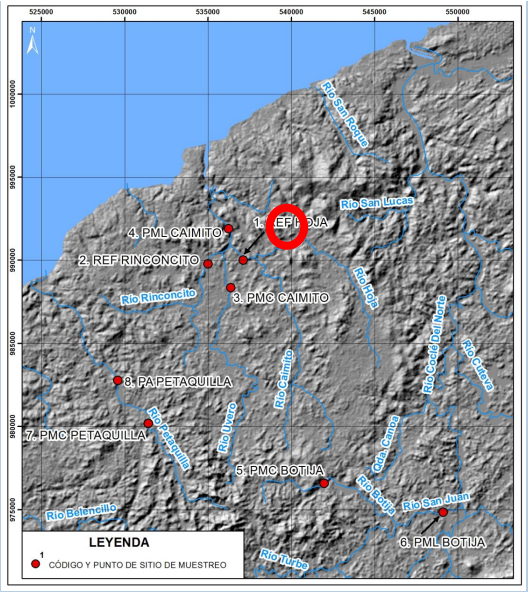
CARACTERÍSTICAS DEL PUNTO: Accesibilidad por embarcación. Presencia de vegetación y turbiedad del agua.

ANCHURA (m): 50-60 **PROFUNDIDAD MEDIA (m)**: 1-3 **TIPOS DE MESOHÁBITATS**: R y TR.

USO DE LAS RIBERAS: Forestal (I) y agropecuario (D) **GRADO DE ALTERACIÓN**: No alterada

ESTABILIDAD DE LAS ORILLAS: Buena **SOMBREADO DEL CAUCE**: 10% (I) y 20% (D)

LOCALIZACIÓN Y FOTOGRAFÍAS DEL SITIO DE MUESTREO



OBSERVACIONES: accesible solo desde embarcación. Alguna alteración margen izquierda por uso agropecuario.

CÓDIGO SITIO DE MUESTREO: PMC-BOTIJA

NOMBRE DEL RIO: Botija	**COORDENADAS (DATUM WGS84)**:
LOCALIZACIÓN: San Benito	NORTE: 976567 ESTE: 541972
TIPO DE SITIO: PMC	(0976744N, 0541971E)

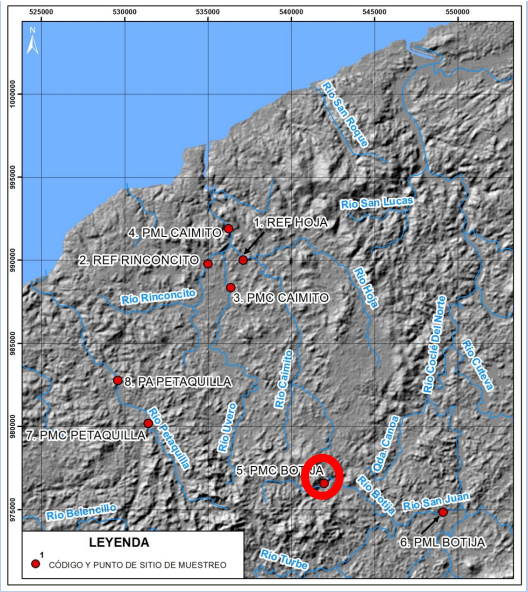
CARACTERÍSTICAS DEL PUNTO: Accesible margen izquierda. Presencia de vegetación y turbiedad del agua.

ANCHURA (m): 10 **PROFUNDIDAD MEDIA (m)**: 0,2-0,3 **TIPOS DE MESOHÁBITATS**: TR y RV.

USO DE LAS RIBERAS: Forestal (D) y agropecuario (I) **GRADO DE ALTERACIÓN**: alterada (I y D)

ESTABILIDAD DE LAS ORILLAS: Buena **SOMBREADO DEL CAUCE**: 10% (I) y 10% (D)

LOCALIZACIÓN Y FOTOGRAFÍAS DEL SITIO DE MUESTREO



OBSERVACIONES: moderado caudal y turbiedad del agua. Deposición de finos en piedras.

CÓDIGO SITIO DE MUESTREO: PML-BOTIJA

NOMBRE DEL RIO: San Juan de Turbe	**COORDENADAS (DATUM WGS84)**:
LOCALIZACIÓN: Coclecito	NORTE: 974840 ESTE: 549121
TIPO DE SITIO: PML	(0975030N, 0549114E)

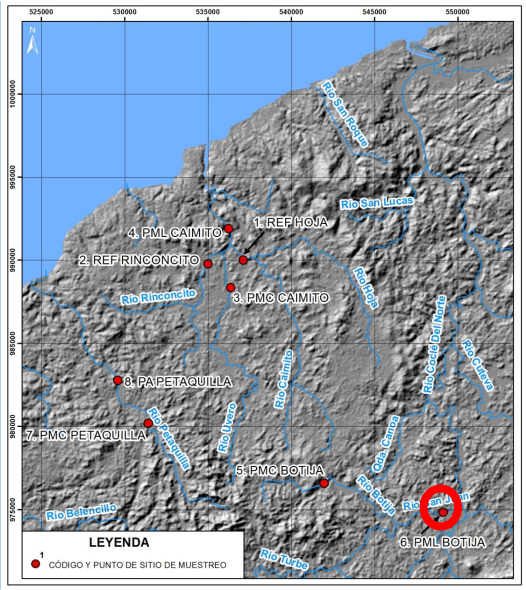
CARACTERÍSTICAS DEL PUNTO: Accesible margen derecha. Presencia de vegetación y turbiedad del agua.

ANCHURA (m): 80-100 **PROFUNDIDAD MEDIA (m)**: 0,5-2,0 **TIPOS DE MESOHÁBITATS**: RA, TR, TL y RV

USO DE LAS RIBERAS: Forestal (D e I) **GRADO DE ALTERACIÓN**: No alterada (I y D)

ESTABILIDAD DE LAS ORILLAS: Buena **SOMBREADO DEL CAUCE**: 10% (I) y 10% (D)

LOCALIZACIÓN Y FOTOGRAFÍAS DEL SITIO DE MUESTREO



OBSERVACIONES: elevado caudal y moderada turbiedad del agua.

CÓDIGO SITIO DE MUESTREO: PMC-PETAQUILLA

NOMBRE DEL RIO: Petaquilla
LOCALIZACIÓN: Campamento Lata
TIPO DE SITIO: PMC

COORDENADAS (DATUM WGS84):
NORTE: 974840 ESTE: 549121
(0975030N, 0549114E)

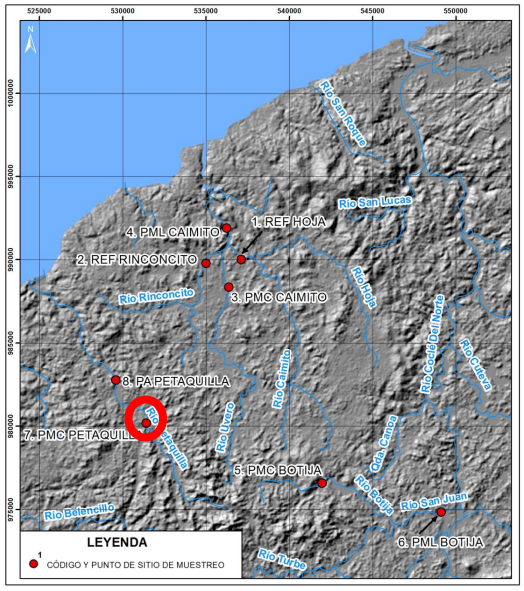
CARACTERÍSTICAS DEL PUNTO: Accesible margen derecha. Presencia de graveras en ambas margenes.

ANCHURA (m): 21 **PROFUNDIDAD MEDIA (m)**: 0,2 **TIPOS DE MESOHÁBITATS**: RA y TL

USO DE LAS RIBERAS: Forestal (D e I) **GRADO DE ALTERACIÓN**: No alterada (I y D)

ESTABILIDAD DE LAS ORILLAS: Buena **SOMBREADO DEL CAUCE**: 75% (I) y 75% (D)

LOCALIZACIÓN Y FOTOGRAFÍAS DEL SITIO DE MUESTREO



OBSERVACIONES: tramos afectados por minería ilegal en la margen derecha.

CÓDIGO SITIO DE MUESTREO: PML-PETAQUILLA

NOMBRE DEL RIO: Petaquilla
LOCALIZACIÓN: Nuevo punto adicional aguas abajo
TIPO DE SITIO: PML

COORDENADAS (DATUM WGS84):
NORTE: 982766 ESTE: 529595
(0981929N, 0529696E)

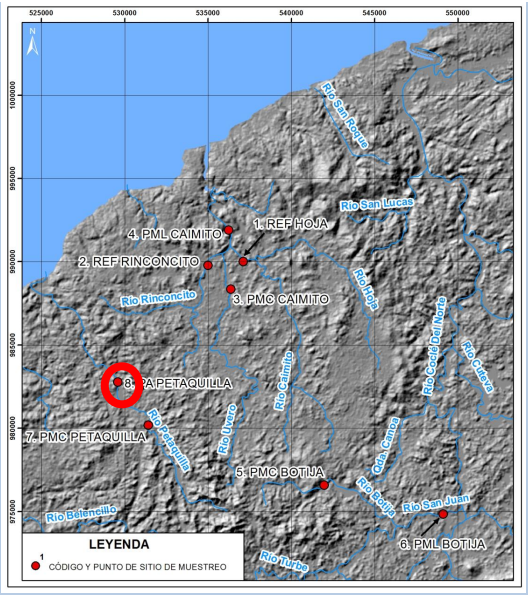
CARACTERÍSTICAS DEL PUNTO: Accesible margen derecha. Presencia de graveras en ambas margenes.

ANCHURA (m): 16-21 **PROFUNDIDAD MEDIA (m)**: 0,3-1,0 **TIPOS DE MESOHÁBITATS**: RA, TL, RV y R

USO DE LAS RIBERAS: Forestal (I) y agropecuario (D) **GRADO DE ALTERACIÓN**: No alterada (I) y alterada (D)

ESTABILIDAD DE LAS ORILLAS: Buena **SOMBREADO DEL CAUCE**: 80% (I) y <30% (D)

LOCALIZACIÓN Y FOTOGRAFÍAS DEL SITIO DE MUESTREO



OBSERVACIONES: talud margen derecha afectado por actividades agropecuarias.

ANEXO 2

INFORMES DE ENSAYO DE ANÁLISIS EN LABORATORIO (AGUA, SEDIMENTO Y BIOTA)

ANEXO 3

INFORMES DE ENSAYO DE ANALISIS DE PERIFITON Y CALCULO IPS

ANEXO 4
FOTOGRAFÍAS Y CARACTERÍSTICAS DE LAS PRINCIPALES ESPECIES DE PECES

Gobiomorus dormitor (Lacepède, 1800)

Trichomycterus striatus (Meek&Hildebrand, 1913)

Eleotrispisonis (Gmelin, 1788)

Pomadasyscrocro (Cuvier, 1830)

Bryconamericus emperador (Eigenmann&Ogle, 1907)

Joturus pichardi (Poey, 1860)

Priapichthysannectens (Regan, 1907)

Andinoacaracoeruleopunctatus (Kner, 1863)

Brachyhypopomus occidentalis (Regan, 1914)

Roeboides loftini (Lucena, 2011)

Hoplias microlepis (Günther, 1864)

Brycon petrosus (Meek & Hildebrand, 1913)

Brycon chagrensis (Kner, 1863)

Poecilia mexicana (Steindachner, 1863)

Awaous banana (Valenciennes, 1837)

Fonchiiichthys uracanthus (Kner, 1863)

Centropomus undecimalis (Bloch, 1792)

Centropomus armatus (Gill, 1863)

A continuación se presenta información ecológica y del ciclo de vida de las tres especies más abundantes y que presentaron la mayor distribución en los sitios de muestreo:

1. ***Sicydiu maltum* (Titi)**: Fue la especie más abundante (n= 79; biomasa total de 119 g), fue colectada en seis de las siete estaciones. Presentó un rango de talla 2.6 a 6 cm en longitud total ($\dot{x}$= 4.3 cm) y 0.7 a 2.2 g en peso ($\dot{x}$= 1.5 g). Es una especie restringida a riachuelos y ríos tanto en la vertiente Atlántica como Pacifica, entre el mar y 1.180 m. de altura de América Central, desde Costa Rica a Colombia (Lyons, 2005). Habita en aguas templadas entre 20 y 31 ºC (Bussing, 1998) y se lo ha encontrado entre otros cursos de agua, en los ríos Cricamola, Cañaveral, Changuinola, Guarumo y Sixaola (STRI: Base de datos Bocas del Toro). Compartiría parte de su hábitat con otra especie del mismo género (S. adellum) en zonas de baja altitud (hasta 90 m). *Sicydiu maltum* ha sido registrado por Bussing (1998) sólo para la Vertiente Atlántica de Costa Rica y según éste mismo autor, la cita de S. antillarum hecha por Brockmann (1965), que "…habita toda la Vertiente Atlántica de Panamá y que originalmente fue descrito de Barbados" correspondería a S. altum (Bussing, 1998).

   Para el cumplimiento de su ciclo reproductivo los adultos deben poder realizar migraciones desde los ríos hacia el océano y viceversa, lo cual implica un uso obligado de los distintos biotopos (cauce del río, estuario y océano). Los adultos procrean en los ríos y las larvas migran hacia el océano de forma pasiva. Desde el océano, se produce una nueva migración a las desembocaduras de los ríos hacia el final de su etapa larval o como juveniles.

   Los Sicydium en general, en su etapa juvenil migran activamente río arriba, desarrollándose progresivamente en su ascenso, alcanzado alturas superiores a los 90 m.s.n.m., para desarrollarse sexualmente, aparearse y poner los huevos, generalmente en nidos cavados bajo los fondos de grava o roca donde los adhiere y deja al cuidado del macho Las restricciones biológicas que generan esta obligación son de carácter trófico: las larvas se alimentan únicamente de plancton, el cual abunda en aguas marinas, mientras que los juveniles y adultos ramonean (algas y organismos incrustantes) sobre las rocas del fondo del río, presentando características bentónicas.

   Esta especie presentaría el ciclo de vida característica del género, con la presencia de cinco etapas netamente diferenciadas: huevo (río), larva (migra al océano), post-larva (estuarial; cambio de hábito alimenticio), metamorfosis a juvenil (migración aguas arriba) y adulto .Los machos de *Sicydium* defienden el territorio reproductivo, donde las hembras depositan huevos adhesivos y bentónicos, generalmente debajo de una roca o en grietas del fondo rocoso. Para las especies anfídromas como S. altum se describen dos tipos de migraciones: la primera ocurre a partir de la eclosión del huevo, donde las larvas deben dirigirse al mar en forma obligada, ya que las hembras adultas no migran (Fièvet et al. 2001). Esta migración es del tipo pasiva donde las larvas nacidas aguas arriba del cauce son arrastradas por la corriente hacia la desembocadura del río o riachuelo (McDowall, 1997).

La segunda migración corresponde a la que realizan postlarvas o juveniles de las especies anfídromas para ingresar al agua dulce y remontar los ríos usualmente en luna llena, período en el cual no se alimentan y cambian su morfología de larvas planctófagos a bentófagos. Esta migración también es obligatoria. Los adultos de las especies del género Sicydium habitan principalmente las zonas con aguas de flujo rápido a moderado o pozos dentro de los ríos siempre y cuando el agua sea bien oxigenada y de flujo moderado.

Los aspectos críticos del ciclo de vida que pueden significar una dificultad para que la especie prospere están íntimamente relacionados con el éxito de los procesos migratorios, considerando la migración pasiva de las larvas aguas abajo de carácter meramente trófico, y la migración ascendente de los juveniles aguas arriba del río, para el crecimiento somático y el alcance de la correspondiente madurez sexual y éxito reproductivo.

Sicydium es un género de peces eurífagos. La alimentación varía de acuerdo a las distintas etapas del ciclo de vida. Las larvas recién eclosionadas no se alimentan, y recién lo hacen una vez que alcanzan el ambiente marino. En la etapa marina llevan una vida asociada al dominio pelágico y se alimentan de plancton. Cuando regresan a los estuarios dejan la vida pelágica asentándose sobre el fondo y en este punto se produce un cambio en su hábito alimenticio, pasando a alimentarse de limo, diatomeas y algas filamentosas que raspan del sustrato (Lyons, 2005).

Los aspectos críticos de su alimentación que pueden significar una dificultad para que la especie prospere se refieren principalmente a la abundancia de oferta alimentaria que puedan tener aguas arriba, específicamente para la fase larvaria que es de hábitos planctófagos. Varios factores han sido mencionados como consecuencias negativas del disturbio causado por el represamiento en ríos tropicales que drenan en el Caribe: presencia de peces predadores introducidos, hábitats inapropiados, baja disolución de oxígeno y la pérdida del estímulo del caudal de los tributarios

Esta especie está íntimamente asociada a los fondos rocosos de los ríos, que le permiten no solo obtener el alimento y reparo, sino también realizar su migración por el lecho pedregoso del río a través del uso de su órgano adhesivo –el cual le permite fijarse al sustrato con corrientes muy rápidas– para desplazarse aguas arriba.

2. **Gobiomorusdormitor (Guabina)**: Fue la tercera especie más abundante (n= 41; biomasa total de 2050.9 g), fue colectada en las siete estaciones. Presentó un rango de talla de 3 a 25.5 cm de longitud total ($\dot{x}$= 14.25 cm) y 10.8 a 92.1 g en peso ($\dot{x}$= 51.45 g).

   Se encuentra en los ríos y arroyos de baja a moderada velocidad de corriente, desde el nivel del mar y hasta los 60 m de altura en los rios, a temperaturas de agua de aproximadamente 22-29ºC (Bussing, 1998). Bussing (1998) informó que se trata de peces bentónicos carnívoro que utiliza movimientos lentos y la coloración críptica para capturar crustáceos y peces. Kramer y Bryant (1995) informaron de que su dieta consistía de algunos invertebrados acuáticos y terrestres. Una longitud máxima de 320 mm fue reportado por Bussing (1998).

Es una especie catádroma, pasa la mayor parte de su vida en ríos de agua dulce, pero el desove lo realiza en zonas de estuarios o en el océano. Winemiller y Ponwith (1998) informaron de que, en Costa Rica, G. dormitor migra a las desembocaduras de los rios para desovar durante la estación seca de la primavera. Los juveniles migran río arriba sobre todo durante la temporada de lluvias de verano, como parte de una migración masiva con las larvas y juveniles de otros peces y camarones diádromos. (Bacheler et al., 2004) indican que las especies pueden completar su ciclo de vida en agua dulce.

3. **Agonostomusmonticola (Lisa):** Fue la segunda especie más abundante (n= 73; biomasa total de 723.36 g), fue colectada en las seis de las siete estaciones. Presentó un rango de talla de 3.5 a 18.5 cm de longitud total ($\dot{x}$= 11 cm) y 1.2 a 28.62 g en peso ($\dot{x}$= 14.91 g).

   Es la única especie de lisa que vive su vida de adulto enteramente en agua dulce. Se encuentra en ríos y riachuelos desde el nivel del mar hasta los 650 m. de altura en ríos (Bussing, 1998) y hasta 1.500 m. en pequeños tributarios (Cruz, 1987).

   Los adultos y subadultos viven en ríos y arroyos de agua dulce la mayor parte de sus vidas moviéndose entre la desembocadura y las nacientes, sin ingresar al mar. El proceso de reproducción se realiza en la desembocadura del río en el mar (Cruz, 1987; Harrison, 2002; Díaz, 2007). Este suceso se desarrolla de forma anual y guarda relación con el período de lluvia mayor, en donde los individuos maduros migran hacia estas zonas bajas a desovar.

   Los huevos eclosionan y las larvas son arrastrados al mar donde cumplen una etapa de vida pelágica, donde se alimentan de plancton. Larvas de A. monticola han sido colectadas en mar abierto a distancias fuera de costa de hasta cientos de millas (Rohde, 1980). Cuando las larvas se desarrollan, los prejuveniles vuelven a ingresar a la desembocadura de los ríos en condiciones ligeramente salinas a mesohalinas hasta que inician el ascenso aguas arriba.

   Estos desplazamientos para desovar cerca del mar y la etapa marina son de carácter trófico ya que las larvas se alimentan de plancton, el cual es muy abundante en aguas marinas. Los juveniles y adultos viven en agua dulce donde predan sobre todo tipo de organismos acuáticos. Es una especie considerada catádroma (aunque también se la cita como anfídroma; McLarney&Mafla, 2007). Es ovípara, que libera huevos pelágicos no adhesivos (Breder& Rosen, 1966). Los huevos son liberados en el medio marino usualmente durante la estación lluviosa (Aiken, 1998).

   Las larvas pelágicas se desarrollan durante un tiempo en alta mar, Los pre-juveniles en un primer momento se encuentran en la zona de desembocadura, como sitio de cría y alimentación, donde se han registrado colectas de individuos no mayores a 25 mm.